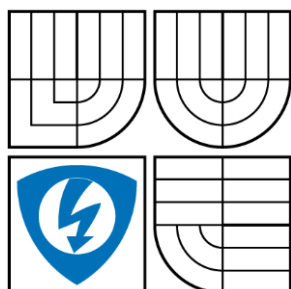


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

PODPORA KVALITATIVNÍCH POŽADAVKŮ SLUŽEB V SÍTÍCH WLAN

SERVICE QUALITY SUPPORT IN WLAN NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOSEF MIZERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Josef Mizera

ID: 119538

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Podpora kvalitativních požadavků služeb v sítích WLAN

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problémy integrace telekomunikačních služeb do prostředí datových sítí na bázi protokolové sady TCP/IP, především z pohledu rozmanitosti požadavků různých služeb na parametry transportního síťového prostředí. Zaměřte se konkrétně na problémy nasazení služeb v reálném čase do bezdrátových datových sítí WLAN dle skupiny standardů IEEE 802.11 a na techniky řešení těchto problémů. Prostudujte principy podpory kvalitativních požadavků v prostředí WLAN dle standardu IEEE 802.11e, navrhnete měřicí pracoviště s více přístupovými body tvořícími jednu WLAN síť a pro různé scénáře realizujte sadu měření. Získané výsledky měření zpracujte, ohodnoťte a sestavte doporučení pro návrh sítí WLAN s plnou podporou kvalitativních požadavků služeb.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GIANNATTASIO,G., ERFANIAN,J., WILLS,P., NGUYEN,H.: A guide to the wireless engineering body of knowledge. IEEE Press, John Wiley & Sons, ISBN 978-0470-43366-9, USA, 2009
- [2] ZANDL, P. Bezdrátové sítě WIFI: Praktický průvodce. Computer Press; ISBN: 80-7226-632-2, ČR, 2003.
- [3] Walke,B.,H., Mangold, S., Berlemann, L. IEEE 802 Wireless Systems. John Wiley & Sons, ISBN 0-470-01439-3, UK, 2006

Termín zadání: 6. 2. 2012

Termín odevzdání: 31. 5. 2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na bezdrátové sítě WiFi a přenos multimediálních služeb pomocí těchto sítí. Pojednává o spojení služeb telekomunikačních a datových sítí, jejich společném využití pro přenosy dat v reálném čase, konkrétně přes bezdrátové přenosové médium pomocí standardů IEEE 802.11. Popisuje jednotlivé standardy 802.11, hlavně standard 802.11e, na který je celá práce zaměřena. Druhá část práce se zabývá návrhem stanovišť pro provedení měření na ověření, funkčnosti podpory kvalitativních požadavků QoS v testované síti.

Abstract

The bachelor's thesis is focused on wireless networks WiFi and the transmission of multimedia using these networks. It discusses the connection of telecommunication and data networks, their common use for transfer of data in real time, particularly through wireless transmission medium using standards IEEE 802.11. It describes individual standards 802.11, mainly 802.11e on which is this bachelor's thesis focused. The second part of the work is focused on designing the networks for measuring to verify the functionality of service quality support in the tested networks.

Klíčová slova

WLAN, QoS, WMM, 802.11e, AP, VoIP, real-time, IntServ, DiffServ

Key words

WLAN, QoS, WMM, 802.11e, AP, VoIP, real-time, IntServ, DiffServ

Bibliografická citace:

MIZERA, J. *Podpora kvalitativních požadavků služeb v sítích WLAN*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 66 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Podpora kvalitativních požadavků služeb v sítích WLAN“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl zejména poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D. za odbornou pedagogickou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

podpis autora

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Konvergence telekomunikačních a informačních technologií.....	10
2.1	Vývoj telekomunikačních sítí.....	10
2.2	Vývoj informačních sítí	12
2.3	Vzájemné působení telekomunikačních a informačních technologií	13
2.4	Sbližování a prolínání technologií	13
2.4.1	Konvergence sítí	13
2.4.2	Integrace služeb.....	13
3.	Multimediální služby využívané v datových sítích.....	14
3.1	VoIP	14
3.2	IPTV	15
3.3	VoWi-Fi	15
4.	QoS	16
4.1	Služby v reálném čase	16
4.2	Základní parametry QoS	16
4.2.1	Doporučené hodnoty parametrů QoS pro VoIP	17
4.3	Dělení služeb	17
4.4	QoS v internetu	18
4.4.1	IntServ.....	18
4.4.2	Diffserv	19
4.4.3	Rozdíly mezi IntServ a DiffServ	22
5.	Standardy 802.11	23
5.1	802.11a	24
5.2	802.11b	25
5.3	802.11g	25
5.4	802.11n	25

5.5	Stručný přehled nejpoužívanějších standardů	26
6.	802.11e	27
6.1	Úvod do 802.11e	27
6.2	Funkce u 802.11 DCF a PCF	28
6.3	WMM.....	29
6.4	802.11e EDCF a HCF	31
7.	Sestavení Bezdrátové sítě s jedním a dvěma přístupovými body podporujícími QoS	34
7.1	Síť s jedním AP.....	35
7.1.1	Síť 802.11n 2,4 GHz bez nastavení QoS.....	35
7.1.2	Síť 802.11n 2,4 GHz s nastavením QoS.....	39
7.1.3	Síť 802.11n 5 GHz bez nastavení QoS.....	43
7.1.4	Síť 802.11n 5 GHz s nastavením QoS.....	45
7.2	Síť se dvěma AP	47
7.2.1	Síť 802.11n 2,4 GHz bez nastavení QoS.....	47
7.2.2	Síť 802.11n 2,4 GHz s nastavením QoS.....	51
7.2.3	Síť 802.11n 5 GHz bez nastavení QoS	53
7.2.4	Síť 802.11n 5 GHz s nastavením QoS.....	55
	Závěr	58
	Seznam použité literatury:.....	60
	Seznam obrázků:	61
	Seznam tabulek:.....	63
	Seznam zkratek:	64

1. Úvod

Sítě WLAN (Wireless Local Area Network) jsou v dnešní době jednou z nejpoužívanějších metod připojení k internetu nebo k domácí či firemní síti. S WLAN se dnes prakticky můžeme setkat téměř na každém místě. Tato bakalářská práce je zaměřena na jednotlivé standardy sítí WLAN a na přenos multimediálních služeb pomocí těchto sítí.

WLAN nebo také WiFi vznikly, aby bylo možné zavést datové sítě i do míst, kam to pomocí kabelového rozvodu není možné. Využití bezdrátového připojení k síti je také ve většině případů levnější variantou než při kabelovém připojení. U WLAN sítí ovšem nebylo dříve počítáno s absolutním využitím všech služeb jako u sítí LAN. Po nějaké době užívání bezdrátového připojení se začaly objevovat požadavky na přenos citlivých dat v reálném čase, jako jsou multimediální služby, videohovory, proudové vysílání a další. Při přenosu takto citlivých dat je nutné mít zajištěnu garanci některých parametrů vyskytujících se při přenosu dat. Čtyřmi hlavními parametry garance služeb jsou kolísání zpoždění, šířka pásma, zpoždění a ztrátovost paketů. Původní standardy bezdrátových sítí nepodporovali žádnou garanci těchto parametrů z důvodu využívání náhodného přístupu k přenosovému médiumu. Při této metodě může docházet k vysoké zátěži při připojení k médiumu, tím pádem se doba přenosu citlivých dat prodlužuje, což je např. u videohovoru nepřijatelné.

Po dlouhé době, kdy byly kladeny požadavky na přenosy v reálném čase, byl vyvinut mechanismus, který přenosy multimediálních služeb umožnil. Jedná se o službu WMM (Wireless Multimedia), která spadá pod rozšířený standard 802.11e podporující kvalitativní požadavky služeb v sítích WLAN. Tento standard je popsán v jedné části práce.

V poslední kapitole je dokázáno, jak se změní kvalita přenosu multimediálních služeb při využití sítí, které podporu kvalitativních služeb v sítích WLAN využívají.

2. Konvergence telekomunikačních a informačních technologií

Kvalitativní požadavky služeb v sítích WLAN jsou využívány hlavně při použití telekomunikačních služeb, jako je například VoIP (Voice over Internet Protocol), nebo videohovory. Tyto služby využívají konvergenci telekomunikačních a informačních technologií.

Telekomunikační a informační technologie se řadu let vyvíjely nezávisle na sobě až do doby, kdy se začala digitalizovat a rozvíjet informatika. Těmito požadavky začalo ovlivňování a prolínání těchto dvou dříve odlišných oborů. Začaly se zavádět nové datové, terminálové a počítačové sítě, vznikaly nové síťové technologie a specializované veřejné datové sítě. Jako první výsledek konvergence lze považovat IP telefonii, která využívá pro hovorovou komunikaci datovou síť [1].

2.1 Vývoj telekomunikačních sítí

Telekomunikační sítě byly dlouhou dobu budovány pro každý způsob komunikace jednotlivě. Nezávisle na sobě byly budovány sítě hovorové a textové (telegrafní). Rozvoj těchto sítí byl nejvíce ovlivňován plošným rozšířením, počtem účastníků a objemem provozu. Telekomunikační sítě jsou již od počátku uspořádávány hierarchicky a to proto, aby byl přirozeně rozložen objem provozu v závislosti na vzdálenosti účastníků. Mezi další důvody patří důvody technického a ekonomického charakteru, jsou to vlastnosti a schopnosti spojovacích a přenosových systémů a relace mezi náklady na výstavbu a provozem ústředny a přenosových cest. Ústředny pracující na principu komutace okruhů s využíváním elektromechanických prvků nebo jednoduchých polovodičových spínačů, byly energeticky a prostorově hodně náročné, což znamená, že povolily v jednom místě kapacitu sítě nejvíce pro desítky tisíc účastníků. Z tohoto důvodu vznikl také problém, jak za nízké náklady vytvořit individuální přípojně vedení účastníka, a přitom dodržet požadovaných elektrických parametrů. Další problém nastal při vybudování potřebného počtu dálkových okruhů mezi ústřednami s využitím pouze klasických dálkových kabelů a analogových přenosových systémů [1].

Hlavní příčinou pro rozvoj telekomunikačních sítí byly rostoucí potřeby komunikace, které se projevovaly zvyšujícím se počtem účastníků a zvětšováním objemu provozu. Řešily se dva hlavní problémy, a to zjištění potřebných přípojných kapacit ústředny a možnosti co nejefektivnějšího využití přenosových medií, zejména draze vybudovaných kabelových tras. Jedním z řešení bylo vynalezení pulzní kódové modulace – PCM, což je nahrazení přenosu analogového signálu přenosem signálu digitálního. Postupem času v 60. letech byly analogové signály nahrazeny signály digitálními.

Po PCM byl další velký pokrok zaznamenán díky technice polovodičů, miniaturizací a integrací součástek a hlavně využitím mikroprocesorů. Aplikování počítačových systémů prošlo velkým rozvojem, zejména programového řízení ve spojovacích zařízeních. Významný kvalitativní pokrok byl také u přenosových médií, a to rozvoj přenosu signálů po optických vlnovodech (vývoj optických vláken a optoelektronických součástek), což vedlo k rychlému zaměňování klasických metalických kabelů za kabely optické [1].

Na počátku 50. let minulého století vznikly požadavky pro datovou komunikaci pomocí telekomunikačních sítí, které byly důsledkem vývoje prostředků výpočetní techniky a jejich aplikací. To bylo podnětem k zavedení nového telekomunikačního oboru – přenos dat, který byl zaveden na přelomu 50. a 60. let dvacátého století. Přenos dat se využíval nejdříve pro telegrafní a telefonní sítě, později pak i pro komunikaci uživatelů s počítači. Ovšem nároky na datovou komunikaci stále rostly, čímž začaly vznikat potíže se zajištěním přenosu digitálního datového signálu v analogové telefonní síti, problémy kvality těchto datových služeb a také rostly finanční prostředky potřebné k provozu datové komunikace. Na přelomu 60. a 70. let proto vzniklo nové odvětví datových sítí. Existovaly sítě s komutací okruhů, kde byl použit klasický princip spojování, stejně jako u sítí telegrafních a telefonních. Novým typem telekomunikační sítě byla datová síť s přepojováním paketů, tj. s principem spojování, který vznikl v rozvíjejícím oboru informačních technologií. Síť s komutací okruhů se ukázala jako neperspektivní. Princip přepojování paketů se stal základem rychlého rozvoje datové komunikace. Komutace paketů má dvě výhody. První výhodou je s pomocí sdílení síťových prostředků několikrát vyšší využití kapacity přenosových cest a druhou výhodou je možnost spojení všech účastníků připojeným k síti se všemi ostatními účastníky. Existence několika druhů telekomunikačních sítí vedle sebe vytvořila doposud nepoznaný problém, a to propojení sítí různého typu a zajištění jejich spolupráce tak, aby byla možná vzájemná komunikace jejich účastníků. S narůstajícími potřebami služeb především nehovorového charakteru komunikace (textová a obrazová), vznikly nové telekomunikační služby, ve kterých se poprvé propojily obory informatiky a telekomunikací. Tyto služby byly označeny jako služby telematické [1].

V této době vznikla myšlenka vytvořit jediné síťové prostředí pro všechny druhy dálkové komunikace. Síť byly označeny ISDN – digitální síť integrovaných služeb. Základem této sítě je IDN integrovaná digitální síť, což je telefonní síť postavená na digitálním přenosovém prostředí. ISDN síť měly dvě výhody, první výhodou byl přístup ke všem komunikačním možnostem na jedné lince a druhou výhodou byla vysoká kvalita parametrů poskytovaných služeb. Nevýhodou této sítě byla vysoká cena za poskytované služby [1].

2.2 Vývoj informačních sítí

Vývoj informačních sítí se odvíjel od vývoje výpočetní techniky. Od poloviny minulého století se počítače začaly dostávat do sfér hospodářských a dalších, což nebylo dříve kvůli nákladům, rozměrům, obtížnosti obsluhy a energetickým spotřebám možné. První formou datového přenosu byl tzv. off-line režim, který se neosvědčil. Protože se zvyšovaly nároky na rychlost a operativnost zpracování dat byl vyvinut režim on-line. Režim on-line si vyžádal doplnění počítačů o prostředky zajišťující komunikační funkce. Jednalo se o doplňkové jednotky, které byly vloženy přímo do zpracovatelského počítače i s příslušným softwarem, nebo to byly speciální komunikační počítače. S vývojem těchto prostředků se začaly rozrůstat sítě terminálové, později i sítě počítačové sdružující výpočetní a paměťové kapacity více počítačů a umožňující sdílení dat pro více uživatelů, nebo rozdělení složitějších úloh mezi více počítačových stanic. Pro dálkovou datovou komunikaci se na pokraji jejich využívání nebudovaly nové speciální přenosové cesty, ale využívaly možnosti, které byly k dispozici. Služby veřejných telekomunikačních sítí jsou komutovaná spojení v síti telefonní a telegrafní, nebo pevné okruhy. U komutovaných spojení se uživatelé museli smířit s nekvalitními a nestabilními parametry, zatímco u pevného okruhu bylo možno si vybrat požadovanou kvalitu i vlastnosti okruhu. Při používání pevných okruhů nebylo možné dostatečně využívat kapacitu médií, což vedlo k hledání metod, které by tuto kapacitu dokázaly více zúročit. Prvním způsobem jak využít jeden okruh více uživateli byl princip kmitočtového multiplexoru, dalším způsobem byl synchronní multiplexor s časovým dělením. Výraznější posun ve využití kapacity přenosových cest byl asynchronní multiplexor s časovým dělením, využívající statické vlastnosti časových průběhů datových toků. Brzy ale přestala kapacita sítí dosažená těmito způsoby stačit, tudíž bylo nutné zapojit mechanismy pro přepojování. Jako nejvýhodnější se ukázal princip přepojování paketů. Princip přepojování paketů byl také jedním ze základních kamenů filozofie referenčního modelu síťové architektury RM-OSI. Tento model měl zajistit možnost připojení jakýchkoliv koncových zařízení k síti, vytvořené podle pravidel a specifikací jednotné síťové architektury. Vrstvový referenční model OSI se stal základem pro nová řešení síťových systémů, služeb a uživatelských zařízení a tvorbu mezinárodních normativních dokumentů pro oba obory [1].

Velká změna v informačních technologiích přišla s prudkým nástupem osobních počítačů v 80. letech 20. století. Rozmístění těchto domácích stolních počítačů začalo klást nároky na počítačové sítě. Zvyšovaly se požadavky na propojení jednotlivých počítačů a jejich vzájemnou komunikaci.

Revoluční změnou v sítích byla myšlenka globálního propojení počítačových sítí a vytvoření celosvětové sítě internet [1].

2.3 Vzájemné působení telekomunikačních a informačních technologií

Do 80. let 21. století byl vyvíjen nátlak, na kvalitu služeb telekomunikačních sítí zejména v odvětví datové komunikace, ze strany informačních technologií. Rychle se zvyšující nároky nebylo možné pojmout pomocí tehdejších telekomunikačních sítí provozovaných operátory. To se stalo jedním z důvodů pro otevření telekomunikačních trhů. Doba těchto změn byla také dobou, kdy se začaly rozvíjet služby poskytovatelů internetu. Velký rozvoj využívání internetu byl příčinou, že asi na přelomu tisíciletí přerostla datová komunikace komunikací hlasovou. Stále se zdokonalující zařízení pro datové IP sítě mohou poskytnout takovou provozní kapacitu a přenosové rychlosti, že za určitých okolností mohou nahradit kvalitu přenosových služeb v digitálních sítích s komutací okruhů. Pokud se spojí možnosti datových sítí s novými metodami digitálního zpracování akustických a obrazových signálů, je možné vytvořit audio a video komunikaci v reálném čase za použití síťového prostředí [1].

2.4 Sbližování a prolínání technologií

Sbližování a prolínání těchto dvou oborů se v poslední době stalo významné pro vývoj informačních i telekomunikačních technologií. Tento proces je nazýván jako konvergence. Konvergence se dělí na dvě odvětví – konvergence sítí a konvergence služeb [1].

2.4.1 Konvergence sítí

Konvergencí sítí se rozumí sbližování současných telekomunikačních sítí s komutací okruhů, především sítě telefonní a ISDN, paketové datové sítě, sítě frame relay a sítě ATM se sítěmi založenými na internetovém paketovém protokolu IP. Dalším důvodem pro konvergenci technologií je tržní prostředí. Konkurenční firmy zjistili, že základem úspěchu není pouze provozování sítí, ale je to také poskytování služeb a produktů zákazníkovi [1].

2.4.2 Integrace služeb

Konvergencí služeb se rozumí spojování služby telefonní se službami datové, textové, dokumentové, video a audio komunikace na jediném koncovém zařízení. Jsou to služby známé jako multimediální [1].

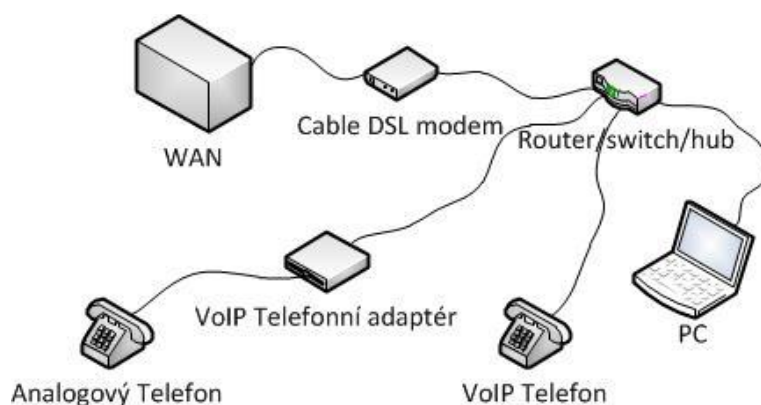
3. Multimediální služby využívané v datových sítích

V kapitole multimediální služby využívané v datových sítích budou krátce popsány některé služby, často používané v telekomunikacích, které se v dnešní době začínají realizovat pomocí sítí IP. Nejvyužívanější telekomunikační službou je VoIP, tedy volání pomocí datové sítě, dále se často využívá videohovorů, IP televize, a další služby v reálném čase.

3.1 VoIP

VoIP je zkratkou pro Voice over Internet Protocol. Jde tedy o technologii, která realizuje přenos digitalizovaného lidského hlasu. Využívá k tomu IP sítě, které byly původně využívány pouze pro přenos dat. Tato technologie lze využívat v sítích, ve kterých lze nasadit protokol IP. Nemusí to tedy být pouze internet, ale také privátní síť VPN, síť uvnitř společnosti tzv. intranet a další sítě, které tento protokol podporují. VoIP funguje tak, že převádí analogový hlas na digitální pakety, které jsou sítí zaslány příjemci na druhém konci. Technologie VoIP zahrnuje nejen přeměnu a kompresi analogového hlasu na digitální pakety, ale také jejich přenos a následnou dekompresi a přeměnu zpět na analogový hlas. VoIP také zaručuje QoS kvalitu služeb, která je známá z telekomunikací. Tuto technologii lze využívat neomezeně. Je možné volat mezi účastníky, kteří používají dva počítače s příslušným zařízením, ale je také možné spojit se s klasickými telefonními čísly pro místní, dálkové, mobilní i mezinárodní volání. Klasický telefonní přístroj je možné připojit k internetu pomocí speciálního telefonního adaptéru, který tato volání pomocí IP telefonie na běžná čísla umožní [4].

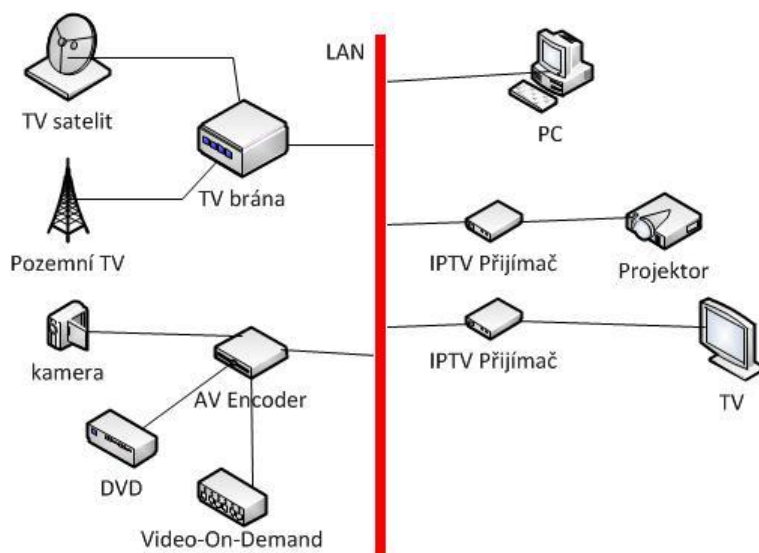
Na obrázku 1 je zobrazeno možné zapojení VoIP.



Obrázek 1- Zapojení VoIP

3.2 IPTV

Televize využívající internetový protokol, jsou služby digitální televize šířené prostřednictvím IP protokolu přes počítačové sítě. Velkou výhodou IPTV je její interaktivita. Znamená to, že vysílání není posíláno operátorem pouze k divákovi, ale také reaguje na požadavky diváka, které jsou vysílány pomocí dálkového ovladače. Nejoblíbenější službou u IPTV je videotéka, kterou lze využít ke zhlédnutí konkrétního filmu v libovolný čas, aniž by bylo nutné se vázat na stanovený televizní program. Klasické televizní vysílání je zvoleno divákem na základě zvolení určitého balíčku programů. IPTV je většinou součástí tzv. triple play nabídky, což je společná nabídka s telefonem (VoIP) a vysokorychlostním internetem. Pro příjem IPTV je nutné, aby divák měl set top box, který je odlišný od běžného set top boxu používaného pro zemské digitální vysílání DVB-T [3]. Možnosti zapojení IPTV jsou zobrazeny na obrázku 2.



Obrázek 2- Možnosti využití IPTV

3.3 VoWi-Fi

VoWi-Fi v plném znění Voice over Wireless Fidelity je mobilní bezdrátovou variantou technologie VoIP, která je navržena pro práci na bezdrátových zařízeních jako je například notebook, PDA nebo mobilní telefon s přístupem na internet. Jde vlastně o levnější způsob mobilní komunikace. Při použití mobilního telefonu VoWi-Fi nabízí bezpečnější možnost telefonní komunikace, která není závislá na počítači, čímž je více chráněna od nebezpečí a virů působících na operační systémy počítačů [2].

4. QoS

Quality of Service zkráceně QoS je složení několika technologií, které umožňují nastavení kvality přenosu pro data přenášená sítí. QoS také dokáže rozlišovat různé typy přenosu a poté každému z těchto přenosů nastavit jinou prioritu, což znamená že QoS zajistí doručení důležitějšího přenosu v pořádku a včas. V současné době je QoS velice využíván z důvodu stále se zvyšujícího používání IP telefonie nebo videohovorů, u kterých je potřeba zajistit určité parametry provozu. QoS se většinou tedy využívá u služeb pracujících v reálném čase, tzv. real-time služby. U těchto služeb je třeba zajistit takový provoz, aby nedocházelo ke zpoždění a ztrátě dat [5].

4.1 Služby v reálném čase

Služby v reálném čase (real time služby) jsou služby, u kterých nezáleží pouze na výsledku přenosu, ale i na jeho časových relacích. Informace musí být doručena v co nejkratší době, tato doba má určitou nejdelší hranici a ta se nazývá deadline. Deadline se dělí do dvou tříd:

- Hard deadline – doba by neměla být překročena, v případě překročení nastává vážná chyba.
- Soft deadline – také by neměl být nikdy překročen, ovšem v tomto případě pokud dojde k překročení času, nenastane tak závažná chyba jako je deadline [6].

4.2 Základní parametry QoS

QoS (viz kapitola 4.) má na starosti upravovat tyto oblasti, ve kterých mohou nastat potíže při přenosu dat:

- Delay – zpoždění - data dorazí k cílové stanici se zpožděním. Toto zpoždění se skládá z propagace (rychlost šíření signálu médiiem), serializace (jak rychle je možno vkládat za sebou data na linku), dále zpracování (routery v cestě), zdržení ve frontách, buffer a další.
- Jitter – kolísání – mezi jednotlivými pakety je rozdílné zpoždění, je to nejvíce způsobeno frontami v přenosové cestě.
- Packet loss – ztrátovost – paket je cestou ztracen nebo zahozen, v případě ztráty musí být v sítích TCP paket zaslán znovu, což způsobí změnu pořadí. U aplikací pracujících v reálném čase se používá nespolehlivý protokol UDP, který postrádá mechanismus pro znovu vyslání ztraceného paketu, tyto aplikace používané pro přenos hlasu a videa většinou tolerují určitou ztrátu paketů.

- Throughput – propustnost – maximální možná dlouhodobá zátěž linky.
- Out-of-order-delivery – doručení mimo pořadí – datové pakety mohou putovat jinou cestou nebo byly ztraceny a poslány znovu.
- Bandwidth – šířka pásma – je využita nárazově a při stahování velkých souborů může zabrat i pásmo pro telefonii, můžeme zkomprimovat hlavičky samotných paketů [6].

4.2.1 Doporučené hodnoty parametrů QoS pro VoIP

- Latence (doba mezi vysláním a doručením paketu) < 150 ms.
- Jitter (rozdíl intervalů přijímaných paketů) < 30 ms.
- Packet loss (podíl přijatých a poslaných paketů za čas) < 1%.
- Bandwidth (souvisí s propustností) 12 – 106 kbit/s v závislosti na vzorkování, kodeku a režii na 2. vrstvě [5].

4.3 Dělení služeb

- Best-effort service – je to služba která nepoužívá QoS, klasický TCP/IP provoz, doba doručení je proměnlivá a nespecifikovatelná a mění se podle zatížení sítě.
- Garantované služby – služby, které jsou vždy dostupné a zaručují doručení všech odeslaných dat.
- Služby s řízením zátěže – služby garantující průměrné zpoždění a doručení téměř všech přenášených dat, ne ale všechna jako to je u garantovaných služeb [6].



Obrázek 3-Dělení služeb QoS

- Best Effort – nemění pořadí paketů
- Diffserv – rozlišuje druhy datových toků a přiřazuje jim různé priority
- IntServ – rezervuje pevné šířky pásma pro různé aplikace [12].

4.4 QoS v internetu

Při implementaci QoS v internetu je možné rozdělit služby do dvou modelů:

- IntServ – integrated services – dnes málo využívaná technologie QoS, musí být podpora jak u aplikace, tak u všech rourek na cestě, nejprve se vyjedná a rezervuje cesta, pak se posílají data. IntServ používá protokol RSVP (Resource ReSerVation Protocol) pro rezervaci cesty, tato metoda je značně náročná na zdroje.
- DiffServ – differentiated services – dnes nejpoužívanější metoda, pakety rozdělí do tříd po příchodu do routeru, klasifikace paketu se může zaznamenat do hlavičky paketu. S jednotlivými třídami se poté zachází dle konfigurovaných parametrů [5].

V dalších kapitolách jsou tyto modely popsány podrobněji.

4.4.1 IntServ

Je to model pro zajištění požadované kvality služeb v IP sítích. IntServ poskytuje jak služby garantované tak také služby s řízením zátěže. Rámec pro implementaci IntServ se skládá ze čtyř částí, které musí být vloženy do všech směrovačů a hostitelů.

- Packet Scheduler (plánovač paketů)
 - Řídí zasílání proudů dat. Využívá soubory front, časovače apod. Plánovač paketů musí být tam, kde jsou vytvářeny fronty paketů. Většinou je každý samostatný datový tok řešen samostatnou frontou, plánovač pak řeší, jak s jednotlivými frontami zacházet.
- Admission Control (kontrola přístupu)
 - Algoritmus, který zjišťuje, zda vytvoření nové rezervace neovlivní již existující rezervovaný tok. Kontrola přístupu je prováděna v každém uzlu sítě.
- Classifier (klasifikátor)
 - Slouží k identifikaci a směrování paketů. Každý paket je mapován klasifikátorem určité třídy. S pakety stejné třídy je také stejně zacházeno.

- RSVP – Resource reServation Protocol (protokol pro rezervaci prostředků)
 - o Protokol pro sestavení a udržení stavů ve směrovačích a koncových zařízeních, které jsou pro provoz rezervovány.

Aby bylo dosaženo požadované kvality služeb, je provoz řízen pomocí klasifikátorů a plánovačů paketů. Při přijetí RSVP paketu do směrovače, prochází žádost mechanismem určujícím, jestli je ve směrovači dostatek prostředků pro dosažení požadovaných služeb, které jsou v paketu RSVP. Směrovače obsahují mechanismus na zajišťování kvality služeb nazývaný řízení provozu a skládá se ze dvou částí:

- Klasifikátor paketů: určuje QoS pro všechny pakety.
- Plánovač paketů: docílí cílovou QoS.

Po přijetí RSVP paketu do směrovače nebo počítače, prochází RSVP mechanismem určujícím, zda je v uzlu dostatek zdrojů k zásobování žádané QoS. Pokud v uzlu je dostatek zdrojů prochází paket RSVP další kontrolou určující, zda má uživatel povolení pro vytvoření rezervace. Při splnění obou kritérií, nastane nastavení klasifikátoru a plánovače paketů, které obstarají požadovanou QoS. Při nesplnění jednoho z kritérií dochází k zamítnutí rezervace.

V prostředí multicastového vysílání se při rezervaci dodržují určité styly. Pokud bude v jedné RSVP relaci více odesílatelů, dělíme styly na:

- Odlišná rezervace (distinct reservation) – vytváří různé rezervace pro různé odesílatele.
- Sdílená rezervace (Sharp reservation)- pro celou skupinu uživatelů je jedna rezervace.

Další možností dělení QoS u odesílatelů je dělení na:

- Explicitní – vybírá se seznam odesílatelů.
- Implicitní – vybírají se všichni odesílatelé v dané relaci [6].

4.4.2 Diffserv

Diferencované služby dělí služby v závislosti na jejich náročnost na síť. Jednotlivé služby jsou děleny do tříd, se kterými je pak ve směrovačích zacházeno rozdílně. DiffServ se většinou používají u páteřních sítí a jsou založeny na určitých pravidlech:

- Data jsou na okraji sítě vyhodnocena, upravena podle určitých pravidel a přidělena do skupiny s určitou agregací.
- Agregace (označení chování) je kódování DSCP (DiffServ Code Point) kódem, který zkoumá klasifikátor.
- Klasifikátor provede pro označený paket danou úpravu provozu.
- V síti mají jednotlivé toky různé chování PHB (Per Hop Behavior), které je přiděleno k DSCP.

Určité skupiny datových paketů mají různá pravidla v síti. Tyto skupiny jsou definovány pomocí SLA (Service Level Agreement), pod SLA spadá ještě TCA (Traffic Conditioning Agreements), který se stará o úpravu provozu sítě a jak bude s daty zacházeno, aby provoz vyhovoval SLA.

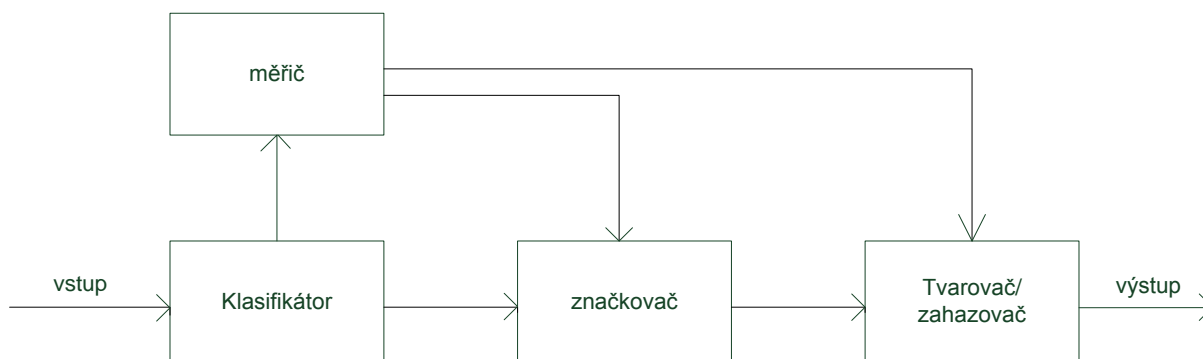
TCA obsahuje pravidla: klasifikační, dopravní profily, značení a pravidla pro formování datového toku.

V záhlaví IP diagramu se nachází pole ToS, které je využíváno jako kód pro služby DSCP. ToS pole se skládá z 8 bitů, ale využíváno je pouze 6 bitů pro služby DSCP. První tři bity určují prioritu dané služby, celkový DSCP tvoří prvních 6 bitů.

Tabulka 1- pole ToS v IP diagramu

0	1	2	3	4	5	6	7
Bity určující prioritu			D	T	R	nevyužívají se	

Provoz sítě je upravován čtyřmi základními komponenty: měřič, klasifikátor, značkováč a tvarovač. U diffServ se úpravy provádí v koncových směrovačích. Pakety nejprve vstoupí do směrovače, dále jsou přeuspořádány do takového pořadí, aby splnili nastavené požadavky pro daný typ služby. Na obrázku 4 je znázorněn model DiffServ [6].



Obrázek 4 - DiffServ Model

Popis jednotlivých komponent u DiffServ:

4.4.2.1 Klasifikátor (*classifier*)

Klasifikátor vybírá pakety z toku dat na základě jejich IP hlavičky. Mohou být dva druhy klasifikátorů:

- BA (Behavior Aggregate) klasifikuje na základě DSCP pole.
- MF (MultiFields) – vybírá paket podle dvou nebo více hodnot v hlavičce paketu (cílová IP adresa, DS pole, ID protokolu, ...)

4.4.2.2 Měřič (*Meter*)

Měřič monitoruje vlastnosti datového proudu vybraného klasifikátorem a porovnává je s dopravním profilem TCA (traffic conditioning agreement – pravidla pro značkování paketů a kontrolu datového toku). Zjištěné informace jsou měřičem zaslány ke značkovací a tvarovací.

4.4.2.3 Značkováč (*Marker*)

Značkováč nastavuje Každému poli DSCP, aby byly tato pole zařazeny k určitým profilům. Značkováč může označit všechny nebo jen některé pakety.

4.4.2.4 Tvarovač (*Shaper*)

Tvarovač upravuje datové proudy tak, aby si odpovídaly s dopravním profilem. Ve tvarovači je vyrovnávací paměť, pomocí které jsou určité pakety zpožďovány nebo urychlovány. Vyrovnávací paměť ve tvarovači ovšem není neomezená, tak se může stát, že přeteče a některé pakety budou vyřazeny.

4.4.2.5 Zahazovač (*Dropper*)

Komponent zahazovač má na starost vyřadit některé nebo všechny pakety v datovém proudu tak, aby tento proud odpovídal dopravnímu profilu, který je dán v TCA.

4.4.2.6 Dopravní profily

Dopravní profily udávají vlastnosti dopravního proudu vybraného klasifikátorem, poskytují pravidla, která určují, zda paket patří nebo nepatří do daného profilu, který byl zvolen klasifikátorem.

4.4.2.7 PHB (*Per Hop Behaviour*)

PHB je režim zasílání datových toků, které jsou specifikovány DSCP. PHB v rámci DSCP existují tři kategorie mezi sousedními uzly:

- **Standardní a Class Selector PHB** – PHB standardní poskytuje službu Best Effort a je využíván pro pakety, které nejsou nastaveny na žádný jiný PHB. Standardní PHB dostane nejnižší prioritu, díky které je s datovými pakety zacházeno. Má snahu doručit do cíle co nejvíce paketů v co nejkratším čase, což je ovšem závislé na zatížení sítě. Doporučený DSCP pro standardní PHB je 00000000. Vyšší priority mohou být mapovány prvními třemi bity v ToS.
- **Urychlené předávání (EF – Expedited Forwarding)** – služba zajišťující záruku na kolísání zpoždění pro danou třídu provozu. Zajištění této služby je složité a neefektivní, a to z toho důvodu, že poskytnutí EF kterémukoliv datovému toku vytváří virtuální okruh, který vede k nižšímu využití síťových prostředků.
- **Zajištění předávání (AF - Assured Forwarding)** – služba zajišťující přenos IP datagramů garantovanou rychlostí. Pokud je síť zaneprázdněna, tak se pakety stávají kandidáty na zahození. Ve všech třídách může mít datagram přiřazenou jednu ze tří úrovní pro zničení. Každá třída má přiděleny nějaké síťové prostředky [6].

4.4.3 Rozdíly mezi IntServ a DiffServ

IntServ

- Pro spojení využívá protokol RSVP.
- Velmi přesně nastavuje garanci služeb.
- Využívá všechny směrovače v cestě.
- Vysoká náročnost na síť.

DiffServ

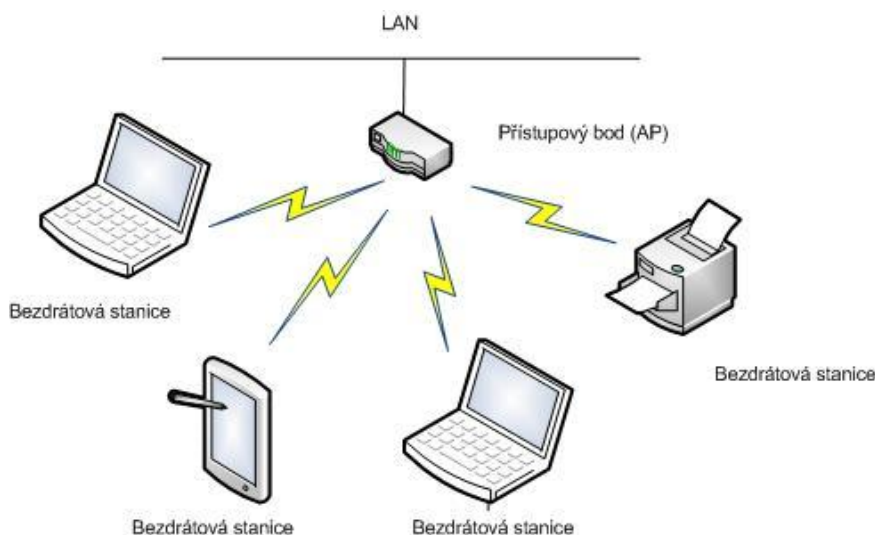
- Jednotlivé třídy provozu jsou definovány předem a je možno je zajistit bez potřeby zasílat zvláštní signalizaci.
- Klasifikaci provádí koncové systémy -> není tak náročný jako IntServ.
- Používá se pro rozsáhlé sítě, páteřní sítě [6].

5. Standardy 802.11

Bezdrátové sítě (WLAN) jsou jedním z nejrychleji se rozrůstajících odvětví bezdrátových přístupových technologií.

Standard 802.11 pochází z USA a světu byla první verze představena v roce 1997 organizací IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers). Tento standard specifikuje bezdrátovou lokální síť označovanou jako WLAN, která se začala uplatňovat v místech, kde je z ekonomických, technických či jiných důvodů nevýhodné provozování sítí propojených metalickými či optickými kabely. Bezdrátový standard také přidává uživateli jistou mobilitu, kterou každý uživatel ocení. Standard 802.11 dokáže pracovat s přenosovou rychlostí 1 nebo 2 Mb/s a pracuje v pásmu 2,4 GHz. Standard 802.11 pracuje se dvěma nejnižšími vrstvami modelu OSI a to se spojeovou vrstvou a síťovou vrstvou. Všechny síťové aplikace, operační systémy, protokoly pracují s kompatibilní sítí se standardem 802.11 stejně jako při práci s Ethernetem. Ve standardu 802.11 jsou definovány dvě zařízení, jedním z těchto zařízení je bezdrátová stanice, která je ve většině případů počítač se síťovou kartou podporující bezdrátový standard 802.11 a druhým zařízením je přístupový bod AP, který slouží jako most mezi bezdrátovou stanicí a pevnou částí počítačové sítě.

U bezdrátového standardu může být síť navržena do dvou režimů. První režim nazývaný infrastrukturní režim popisuje síť složenou alespoň z jednoho přístupového bodu, který je napojen na místní počítačovou síť a jednu nebo více bezdrátových stanic viz obrázek 2.



Obrázek 5 - režim 1

Druhý režim je tzv. Ad hoc, v tomto případě je síť složena pouze z bezdrátových stanic, tudíž se v ní nevyskytuje žádný přístupový bod, pro spojení do pevné počítačové sítě. Znázornění sítě viz obrázek 3.



Obrázek 6 - režim 2

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé standardy, které dále rozvíjely standard 802.11 [7].

5.1 802.11a

Tento standard byl navržen v roce 1999 jako vylepšení standardu 802.11. Využívá mechanismus přenosu OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) a poskytuje mnohem vyšší přenosovou rychlost, než byla u původního standardu. Tato přenosová rychlost je až 54 Mb/s, ovšem v praxi je to asi 36 Mb/s. 802.11a pracuje v bezlicenčním pásmu 5 GHz, které je považováno za výhodu, protože v tomto pásmu je přenos ovlivněn od méně okolních vlivů. Tento standard není v Evropě zcela povolen z důvodů blokování pásma 5 GHz organizací ETSI (European Telecommunication Standards Institute). Standard 802.11a je přizpůsoben pro Evropu standardem 802.11h, který navíc obsahuje funkce DFS (Dynamic Frequency Selection) a TPC (Transmit Power Control). DFS dynamicky přiděluje stanicím nejméně rušené a zatížené frekvence. TPC reguluje vysílací výkon na takovou úroveň, aby bylo rušení do ostatních sítí co nejnižší.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – tato technika přenosu je založena na využití více nosných kmitočtů řazených paralelně se stejným odstupem. Přenos datových paketů je pomalejší, ale z pohledu chybovosti je to výhodné, protože pomalejší paket není tak náchylný na chybovost jako paket rychlejší. Mezi samotné symboly je vkládán ochranný interval o hodnotě 800 ns. U rychlejších standardů je to jinak např. u 802.11n je to 400 ns. Každý z vysílaných signálů má vlastní nosnou frekvenci a je samostatně modulován digitální modulací, např. QAM. Technika OFDM podporuje přenosové rychlosti 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 a 54 Mb/s. Pro rychlosti nižší, než které jsou podporovány modulací QAM, se používají modulace například DBPSK nebo DQPSK. U vyšších rychlostí se používá modulace 16 QAM anebo 64 QAM [8].

5.2 802.11b

Standard také navržený v roce 1999 stejně jako 802.11a. Tento standard využívá techniku DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) s CCK (Complementary Code Keying), díky kterým nabízí přenosovou rychlost až 11 Mb/s, v praxi je tato rychlost asi 6 Mb/s. 802.11b pracuje ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz a v dnešní době se již téměř nevyužívá a je nahrazován rychlejšími protokoly jako 802.11g nebo 802.11n [10].

5.3 802.11g

Standard 802.11g navržený v roce 2003 je v dnešní době asi nejvíce rozšířený, i když pomalu ustupuje rychlejšímu standardu 802.11n. Jako přenosová technika je zde používána technika pracující s rozprostřeným spektrem OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), která podporuje rychlosti 24, 36, 48, 54 Mb/s. Pro použití nižších přenosových rychlostí se používají modulační 16-QAM (Quadrature amplitude modulation), QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), BPSK (Binary Phase-Shift Keying) a DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). DSSS je zde také kvůli zpětné kompatibilitě se standardem 802.11b, ačkoliv pokud bude stanice se standardem 802.11b připojena do sítě 802.11g bude rychlost celé sítě snížena na rychlost standardu 802.11b [9].

5.4 802.11n

Relativně nový standard pocházející z roku 2009, uvádí maximální přenosovou rychlost až 600 Mb/s, ale reálná přenosová rychlost se pohybuje kolem 300 Mb/s. Této vysoké rychlosti je dosaženo využitím několika technologií. První z nich je technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), dále rozšíření šířky kanálu na 40 MHz, spojování rámců (frame aggregation), block ACK (Acknowledgement), a také využitím OFDM.

MIMO vysílá více signálů různými cestami a více různými anténami v jednom frekvenčním kanále, což zvyšuje kapacitu přenosu. Každá cesta je volena v závislosti na kvalitě přijatého signálu a také se při vysílání signálu využívá překážek, čím jsou vytvářeny různé dlouhé cesty signálu od vysílače k přijímači. Při takovýchto odrazech byla u standardů 802.11b a 802.11g vyhodnocována chyba, protože signál přicházel s různým zpožděním a po jeho složení byl různě deformován. U 802.11n přijímač vyhodnotí signály, které jsou vyslány více anténami a poté je pomocí určitých algoritmů

správně seřadí. U technologie MIMO se také používá mechanismus formování, který mění fázi vysílaného signálu v závislosti na vzdálenosti, aby měl signál v přijímači co nejvyšší hodnotu SNR (Signal to Noise Ratio – odstup užitečného signálu od rušivého šumu). Uvnitř budovy se používají 4 antény a mimo budovu 16 antén.

Frame aggregation je seskupování rámců na podvrstvě MAC. Tímto způsobem je snižováno čekání mezi rámci a také se může zrychlit potvrzování rámců tím, že potvrzovací rámec ACK bude vyslán až po určité vyslané sekci rámců [11].

5.5 Stručný přehled nejpoužívanějších standardů

V tabulce 2 je zobrazen stručný přehled nejpoužívanějších standardů u bezdrátových sítí. Tabulka obsahuje popis, ve kterém je uvedeno, v jakých frekvenčních pásmech standardy pracují, jakou maximální přenosovou rychlost mohou dosahovat a jaký typ modulace a přenosu využívají.

Tabulka 2- přehled standardů 802.11

standard IEEE	vznik	pásmo [GHz]	max. rychlost [Mb/s]	typ přenosu/modulace
802.11	1997	2,4	2	DSSS a FHSS
802.11a	1999	5	54	OFDM
802.11b	1999	2,4	11	DSSS
802.11g	2003	2,4	54	OFDM
802.11n	2009	2,4 / 5	až 600	MIMO OFDM

6. 802.11e

Bezdrátové standardy 802.11 měly z počátku problémy s poskytováním kvalitativních služeb QoS připojeným stanicím. Největší problém nastává při přenosu multimediálních služeb v reálném čase. Síť 802.11, které byly používány před standardem 802.11e, neumožnily udělit priority určitému typu přenosu jako je například přenos multimediálních služeb. Standard IEEE 802.11e přináší možnost tuto prioritu přidělit. V kapitole 802.11e bude nahlédnutí na službu WMM (Wireless MultiMedia), která vznikla jako předchůdce 802.11e dále na kontrolu přístupu k médiu MAC, do které standard 802.11e přináší vylepšení. Tento standard také definuje dva nové mechanismy pro podporu QoS, jmenovitě to jsou EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function - zvýšená distribuovaná koordinační funkce) a HCF (Hybrid Coordination Function - hybridní koordinační funkce) [13].

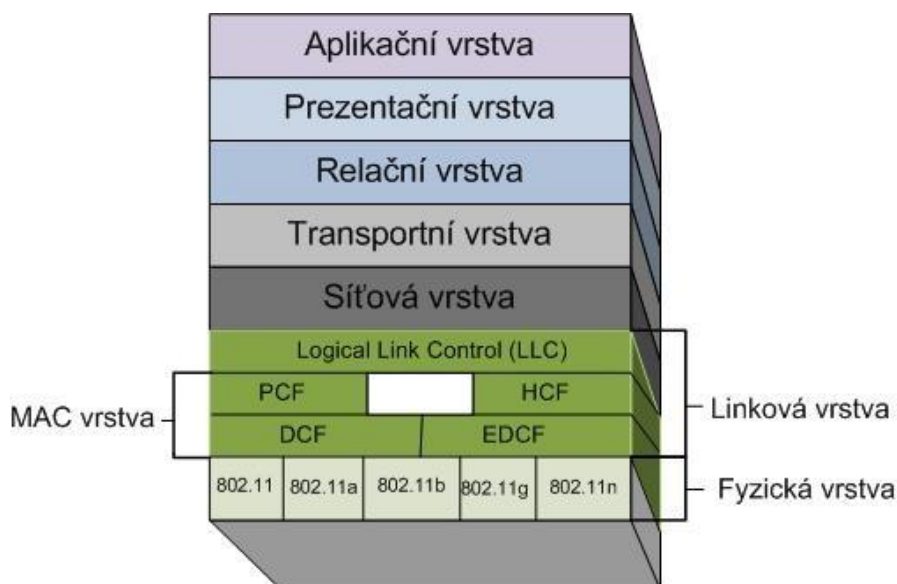
6.1 Úvod do 802.11e

Po zavedení bezdrátových datových sítí došlo v posledních letech k mnoha změnám a inovacím ve specifikaci IEEE. Standard 802.11b, jeden z nejrozšířenějších standardů ze skupiny 802.11, používá převážně 802 LLC (Logical Link Control) protokol, který se stará přímo o přenos fyzických datových rámců na konkrétní médium, ale také poskytuje nezávislou fyzickou vrstvu a podvrstvu přístupu k médiu (MAC), umožňující metodu bezdrátového přenosu Best Effort, která se snaží každý paket doručit do cíle v co nejkratším čase.

Vzhledem k tomu, že se na mnohých místech předpokládá nahrazení původních kabelových sítí WLAN sítěmi, očekává se od této změny, že bezdrátové sítě WLAN budou také poskytovat stejné služby jako síť LAN. Při přetížené síti, může být kvalita některých přenosů nepřijatelná, neboť stanice v síti WLAN jsou náchylné k chybám, které vznikají omezením šířky pásma přenosu. Aby bylo možno poskytnout přijatelnou úroveň QoS i přes bezdrátová přenosová média, bylo vynaloženo ve vývojových skupinách vysoké úsilí. Pro bezdrátové protokoly WLAN, bylo třeba vyvinout metodu pro efektivní využití přenosového kanálu, vyhnout se kolizím a spravedlivě rozdělit limitovanou šířku pásma mezi individuální typy přenosů v IP sítích, které jsou rozděleny podle výšky priority tohoto přenosu.

DCF (Distributed Coordination Function - distribuovaná koordinační funkce) a PCF (Point Coordination Function - bodová koordinační funkce) v původní MAC vrstvě protokolu IEEE 802.11 neposkytovaly služby pro rozlišovací mechanismy, které zaručují dolní mez propustnosti a horní mez ztrátovosti paketů [13].

Z důvodů podstatných požadavků na přenos audio a video dat, které jsou citlivé na zpoždění, vytvořila pracovní skupina IEEE protokol MAC s podporou rozlišení a přidělení priorit paketům. U standardu 802.11e vznikly dva nové režimy vrstvy MAC poskytující QoS pro žádající stanice. Jsou to režimy EDCF a HCF.



Obrázek 7 - vrstvý model OSI s modifikacemi 802.11 a 802.11e [14]

6.2 Funkce u 802.11 DCF a PCF

Metoda DCF je založena na CSMA / CA (Carrier sense Multiple Access with Collision Avoidance) neboli na mnohonásobném přístupu k médiu s předcházením kolize. Pokud má stanice připraveny data k odeslání, nastupuje na řadu fáze předcházení kolizím, kde je náhodně vybraný počet časových slotů (backoff counter) z (0, 1, ..., CW-1). CW (contention window – „okno sváru“) je nejprve nastaveno na CWmin, pokud dojde ke kolizi, tak se hodnota CW mění na dvojnásobek až do výše CWmax. Jakmile je zjištěn volný kanál po dobu zvanou DCF Inter - Frame Space (DIFS), což je minimální požadovaný klidový stav, backoff counter začíná snižovat hodnotu jednomu z volných časových slotů. Pokud bude kanál obsazen, backoff counter je pozastaven do té doby, než bude kanál opět volný, alespoň po dobu, kterou byl volný v minulém DIFS. Když se hodnota backoff dostane k hodnotě nula, stanice může zahájit přenos.

U DCF přenosu mají všechny stanice stejnou pravděpodobnost přístupu ke kanálu se sdílením se stejnou rámcovou frekvencí a různou propustností. Toto spojení nenabízí podporu pro přiřazování priorit, které jsou potřebné pro přenos dat v reálném čase [13].

Metoda PCF byla uvedena jako první pokus pro podporu přenosu časově náročných datových přenosů. Bodový koordinátor (PC – point coordinator) pravidelně vysílá rámec beacon identifikátorům vysílací sítě a řídicím parametrům, které jsou specifické pro bezdrátové sítě. PCF rozdělí čas na období bez spojení (CFP – contention free period) a na období se spojením (CP – contention period). Pouze počítač, který vyzve stanici k vysílání, může během CFP vysílat. CFP končí po uplynutí doby, která je uvedena v rámci beacon, nebo po přijetí koncového rámce CF- End Frame. I když PCF dokáže nabídnout nějakou prioritu pro přetížené stanice, nedokáže ovšem rozlišovat zdroje a typy provozu. Nelze tedy říci, které stanice mají prioritu dlouhého časového přenosu a které mohou využít pouze metodu Best Effort. Dalším problémem u PCF je, že se počítačové stanice musí potýkat s ostatními stanicemi o získání kontroly nad bezdrátovým médiem. Proto se může lišit čas začátku a délka CFP. Tyto důvody vedly skupinu IEEE k založení standardu 802.11e [13].

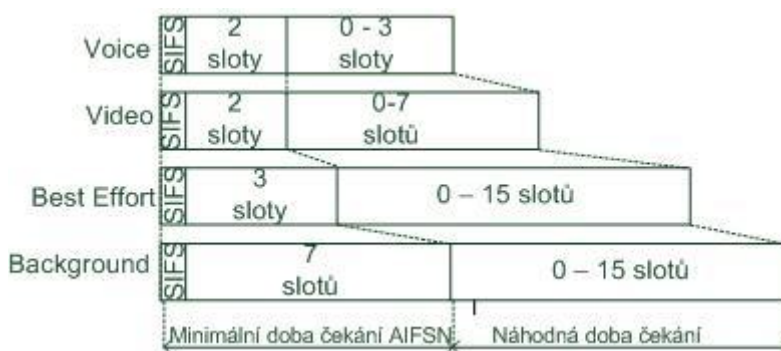
6.3 WMM

Služba WMM je metoda, která byla vytvořena jako předchůdce bezdrátového standardu 802.11e, který poskytuje podporu QoS pro bezdrátové sítě. WMM pracuje na základě DiffServ, která hodnotí datové pakety pomocí jejich klasifikace. Tato metoda byla vyvíjena proto, že se rychle rozrůstaly požadavky pro přenos služeb citlivých na zpoždění. U bezdrátové sítě, která nepodporuje metodu WMM nebo standard 802.11e není možno poskytovat žádné priority pro datové přenosy citlivé na zpoždění jako je například hlas nebo video. V síti, kde je nastaveno WMM, musí všechny stanice podporovat službu WMM, aby mohl probíhat přenos s udělenými prioritami. Pokud některá ze stanic službu WMM nepodporuje, bude zařazena do skupiny s přenosem Best Effort. Nebude tedy mít možnost využít prioritního přenosu citlivých dat. V tabulce 3 jsou jednotlivé třídy popsány i s jejich přidělenou prioritou. Hodnota udělené priority je podle standardu 802.11D, který rozděluje 8 priorit do 4 přístupových kategorií (Voice, Video, Best Effort, Background) [16].

Tabulka 3 - kategorie přístupu WMM[16]

třída přístupu	popis	výška priority dle 802.1D
Priota Hlasu	Nejvyšší priorita: umožní více souběžných hovorů VoIP s nízkým zpožděním a vysokou kvalitou zvuku	7,6
Priorita Videa	Upřednostní přenos videa před ostatními datovými toky. Jeden přístupový kanál v síti 802.11 g nebo 802.11a může podporovat 3-4 SDTV streamy nebo jeden HDTV stream.	5,4
Priorita Best Effort	Přenos z ostatních zařízení nebo aplikací, které nevyžadují QoS. Přenosy s nižší citlivostí na zpoždění. Např. internetový prohlížeč.	0,3
Ostatní priority na pozadí (background)	Nejnižší priorita: tiskové úlohy, přenos dat, přenosy, které nemají přísné požadavky na zpoždění a propustnost	1,2

WMM pracuje na podobném principu jako metoda DCF, akorát nepracuje s čekací dobou DIFS, ale s čekací dobou AIFS (Arbitration Inter-Frame Space), která se mění s výškou priority. Nejvyšší udělená priorita bude mít nejkratší čekací dobu AIFS, díky tomu budou mít data možnost k rychlejšímu přístupu k médium. Čekací doba AIFS je složena z hodnoty AIFSN (Arbitration Inter-Frame), která je složena z násobků slot time a hodnoty SIFS (Short Inter-Frame Space), dále je k těmto dvěma hodnotám přičten náhodný interval CW, který se mění. Velikost Hodnoty AIFSN je odvíjena od třídy přístupu. Čekací doby pro přístup k médium pro různé standardy 802.11 a pro jednotlivé druhy priorit jsou zobrazeny na obrázku 8 a v tabulce 4 [16].



Obrázek 8- WMM doba přístupu k médium u jednotlivých tříd přenosu

Tabulka 4 - časy přístupu k médium u různých standardů [17]

AC	AIFSN	802.11b AIFS[AC]	802.11g AIFS[AC]	802.11a AIFS[AC]	802.11n 2,4GHz AIFS[AC]	802.11n 5GHz AIFS[AC]
SIFS Time	-	10μs	10μs	16μs	10μs	16μs
Slot Time	-	20μs	dlouhý = 20μs krátký = 9μs	9μs	dlouhý = 20μs krátký = 9μs	9μs
Priorita Hlasu	2	50μs	dlouhý = 50μs krátký = 28μs	34μs	dlouhý = 50μs krátký = 28μs	34μs
Priorita Videu	2	50μs	dlouhý = 50μs krátký = 28μs	34μs	dlouhý = 50μs krátký = 28μs	34μs
Priorita Best Effort	3	70μs	dlouhý = 70μs krátký = 37μs	43μs	dlouhý = 70μs krátký = 37μs	43μs
Ostatní priority	7	150μs	dlouhý = 150μs krátký = 73μs	79μs	dlouhý = 150μs krátký = 73μs	79μs

Příklad výpočtu doby trvání přístupu k médium pro udělenou prioritu hlasu:

$$1 \cdot SIFS + 2 \cdot Slot Time (AIFSN = 2) = 1 \cdot 16 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 34\mu s.$$

V tabulce 5 jsou vypsané doby jednotlivých mezirámcových mezer DIFS, PIFS, SIFS a hodnoty CW_{min} a CW_{max} pro nejpoužívanější standardy 802.11.

Tabulka 5 - porovnání mezirámcových mezer a CW_{min} , CW_{max}

standard IEEE	DIFS [μ]	PIFS [μ]	SIFS [μ]	CW_{min}	CW_{max}
802.11a	34	25	16	15	1023
802.11b	50	30	10	31	1023
802.11g	50	30	10	15	1023
802.11n	2,4GHz krátký = 28 dlouhý = 50 5GHz - 34	2,4GHz krátký = 9 dlouhý = 20 5GHz - 25	2,4GHz - 10 5GHz - 16	15	1023

6.4 802.11e EDCF a HCF

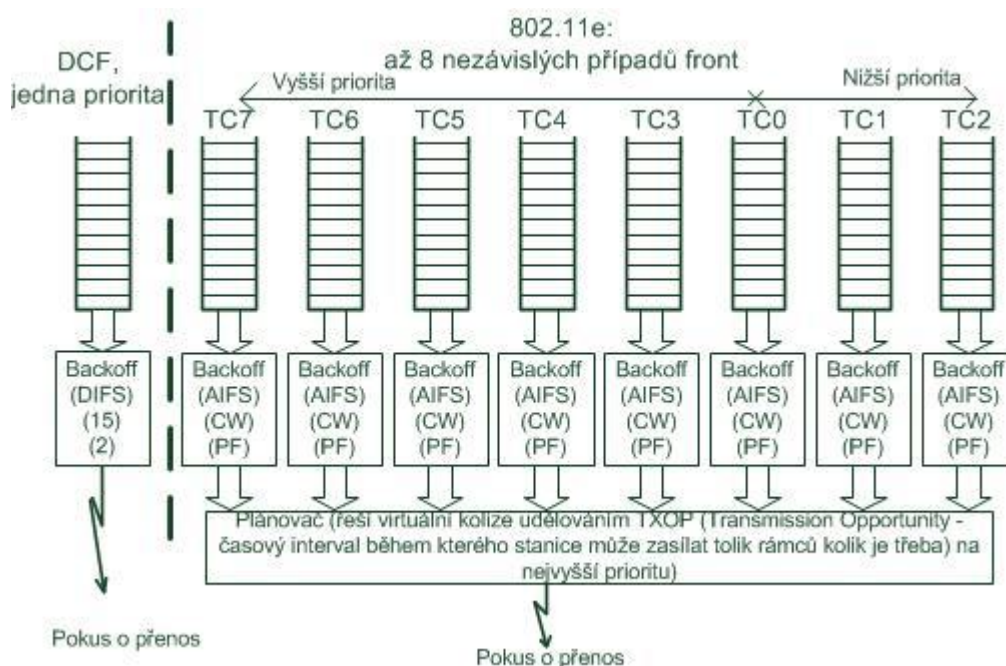
Navržení standardu 802.11e přineslo dvě nová schémata vrstvy MAC. Jsou to schémata EDCF, které rozšiřuje distribuovanou koordinační funkci DCF, a schéma HCF, což je rozšíření bodové koordinační funkce PCF. U standardu 802.11 nebylo nutné mít centrální počítač, zatímco u standardu 802.11e vyžadují obě dvě schémata jak EDCF tak HCF centralizovaný HC (hybridní kontrolér). Je nutno podotknout, že zajištění QoS nemá na starosti vytvořit nové síťové zdroje, ale zajistit aby existující síťové zdroje byly řízeny s cílem poskytnout předurčený výkon jednotlivých datových toků [13].

Metoda EDCF je mechanismus přístupu ke kanálu, který zavádí pojem kategorie přenosu (TCs – traffic categories). Ve stanicích je osm kategorií přenosu a každá z nich má vlastní MAC a počet časových slotů.

Přenosová kategorie začne snižovat hodnotu v jednom z časových slotů přenosového média, jakmile bude médium volné alespoň po dobu, která je definovaná v kategorii přenosu (TC). Tato doba je nazývána Arbitration Inter-Frame Space (AIFS) neboli rozhodující klidový stav rámce.

U kategorie přenosu s vyšší prioritou, bude také nižší hodnota AIFS než u kategorie přenosu s prioritou nižší, tudíž bude moci snižovat hodnotu časového slotu častěji. Každá kategorie přenosu má vlastní CW_{min} (Contention Window – okno sváru), CW_{max} a faktor vytrvalosti PF (Persistence Factor). Tímto se liší pravděpodobnost vítězné kategorie přenosu v přenosovém kanálu. Faktor vytrvalosti PF určuje úroveň zvýšení CW v případě, když nastane opakovaný přenos. U vyšší priority přenosové kategorie bude nižší faktor vytrvalosti PF než u přenosové kategorie s nižší prioritou. U původního standardu 802.11 je hodnota PF konstantní a má hodnotu 2. Vzhledem k tomu, že při použití více kategorií přenosu s různými parametry může existovat více paralelních stanic, může

nastat vnitřní kolize. Vnitřní kolizi lze zabránit tím, že se nechá možnost přenosu kategorií přenosu s vyšší prioritou [13].



Obrázek 9- osm přenosových kategorií (TC), vlevo DCF AIFS=34us CWmin=15, PF=2; vpravo EDCF AIFS[TC]≥34us, CWmin[TC]=0-255, PF[TC]=1-16.[15]

Metoda HCF je nástavba schématu PCF. Periody CP a CFP zde společně tvoří super rámec, stejně jako je to u PCF. Během periody CP je přístup k bezdrátovému médiu řízen pravidly EDCF. Poté začíná období bez spojení CFP, ve kterém HC (hybrid coordinator) přiděluje rámec QoS CF-Poll vybraným stanicím. Rámec CF-Poll uděluje stanici příležitost k přenosu. V tomto rámci je uveden čas začátku spojení a také doba, po kterou se nebude pokoušet získat přístup k médiu žádná jiná stanice. Pokud stanice obdrží rámec CF-Poll, očekává se, že zahájí přenos dat v krátké době nazývané SIFS (Short Inter-Frame Space), která je kratší než doba trvání DIFS (DCF Inter-Frame Space). Nezačne-li stanice v období SIFS vysílat, může HC po uplynutí periody PIFS (PCF Inter – Frame space) pokračovat v zasílání rámce CF-Poll jiným stanicím.

Část nového řídicího potvrzovacího mechanismu je, že HC také udržuje přehled o délkách front pro každou TC (Traffic Category) každé stanice. Tato informace je zasílána HC ze stanice pomocí nového kontrolního QoS pole během kontrolní potvrzovací periody nazývané CCP (Controlled Contention Period). CCP začíná, když HC odešle zvláštní kontrolní rámec, aby stanice nastavily své NAV do doby, než uběhne perioda CCP. Kontrolní rámec definuje počet příležitostí kontrolovaného přenosu, ale také přenosové kategorie TC, které mohou podat žádost k příležitostnému přenosu i během periody




CCP. Pro efektivní zajištění toho, že nepřijaté rámce o žádosti k přenosu od stanice nebudou během CCP detekovány, zasílá HC potvrzení o přijetí tohoto rámce ihned. V tomto potvrzení je také pole s detaily o stanici, od které byla žádost poslána [13].

Souhrn potvrzení vytvořený během CCP, používá HC k určení, které stanice včetně AP budou mít přidělenou možnost přenosu během období bez spojení CFP. V rámci CF-Poll, který stanice přijme od HC, není identifikována kategorie přenosu TC, protože HC neví, jaký typ dat je ve stanici žádající o přenos připraven k odeslání. Toto rozhodnutí je ponecháno na samotné stanici. Tímto rozhodnutím HCF definuje škálovatelné řešení pro QoS u kategorií přenosu TC.

Důležitý rozdíl mezi PCF a HCF je, že HC má přednost před všemi ostatními stanicemi v bezdrátové síti. Poněvadž je PIFS kratší než DIFS a všechny AIFS, HC nemusí kontrolovat bezdrátové médium a může vytvářet HCF přístup v jakékoliv chvíli. Díky tomu mají stanice vždy zaručenu dobu pro příležitostný přenos [13].

7. Sestavení Bezdrátové sítě s jedním a dvěma přístupovými body podporujícími QoS

V této části práce jsou navrženy a realizovány bezdrátové sítě s jedním přístupovým bodem a se dvěma přístupovými body. Bezdrátová síť je sestavena v učebně PA-427 v budově Fakulty Elektrotechniky a Komunikačních Technologií. Při realizování bezdrátových sítí jsou AP (Access Points) nastaveny nejprve na vysílání bezdrátového standardu 802.11n v pásmu 2,4 GHz. Poté jsou nastavení AP přenastaveny na vysílání v pásmu 5 GHz standardu 802.11n. V následujících obrázcích 10 a 11 je k vidění rozdíl mezi sítěmi v pásmech 2,4 a 5 GHz. Snímky byly pořízeny ze serveru rychlost.cz.

Výsledek testu (rychlost, kvalita)				
Download:	1 721,09 kbit/s (215,14 kB/s)	2 velmi dobré		
Upload:	1 420,59 kbit/s (177,57 kB/s)	1 výborné		
Web odezva:	 13ms  41.5ms  91ms	1 výborné		
Stabilita:	32.0 %			
Informace o průběhu testu				
Server:	Praha - Síťel (1Gbps)			
Download:	velikost: 975kB, čas:4.53s			
Upload:	velikost: 700kB, čas:3.94s			
Test:	nebyl ověřen: na žádost návštěvníka nebo nemožnost ověření testu			
Přímá url na výsledek:	http://rychlost.cz/rh/20121479814-48abdd702.html			
Další informace				
Prohlížeč:	WinXP Firefox 11.0			
Teoreticky lze:	za hodinu	za den	za týden	za měsíc
stáhnout	774,49 MB	18,59 GB	130,11 GB	520,46 GB
nahrát	639,27 MB	15,34 GB	107,40 GB	429,59 GB

Obrázek 10- rychlost sítě 2,4 GHz

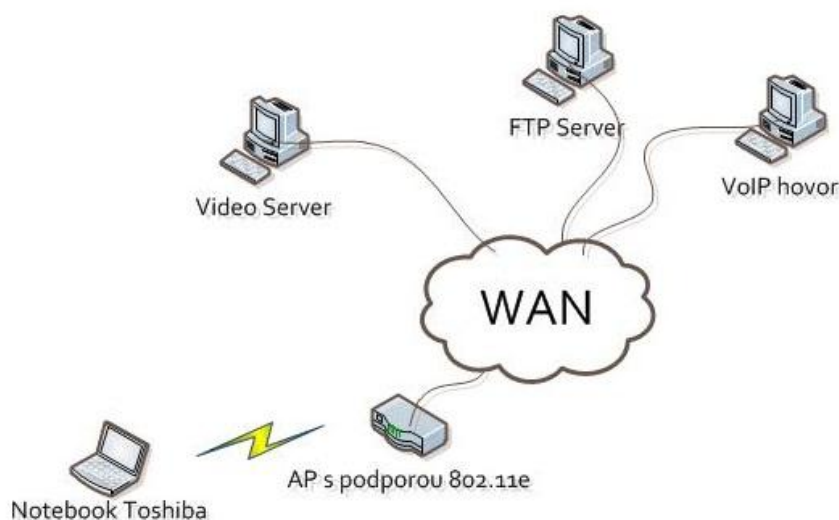
Výsledek testu (rychlost, kvalita)				
Download:	38 783,20 kbit/s (4 847,90 kB/s)			1 výborné
Upload:	11 070,10 kbit/s (1 383,76 kB/s)			1 výborné
Web odezva:	 12ms	 13.7ms	 23ms	1 výborné
Stabilita:	89.2 %			2 velmi dobré
Informace o průběhu testu				
Server:	Praha - Síťel (1Gbps)			
Download:	velikost: 11 315kB, čas:2.33s			
Upload:	velikost: 1 500kB, čas:1.08s			
Test:	nebyl ověřen: na žádost návštěvníka nebo nemožnost ověření testu			
Přímá url na výsledek:	http://rychlost.cz/rh/20121481689-853fc85ac8.html			
Další informace				
Prohlížeč:	WinXP Firefox 11.0			
Teoreticky lze:	za hodinu	za den	za týden	za měsíc
stáhnout	17 452,44 MB	418,86 GB	2 932,01 GB	11 728,04 GB
nahrát	4 981,55 MB	119,56 GB	836,90 GB	3 347,60 GB

Obrázek 11-rychlost sítě 5 GHz

Tak vysoký rozdíl mezi sítěmi jako je na obrázcích 10 a 11 obvykle nebývá. Na měření testovaných sítí, měly špatný vliv okolní bezdrátové sítě v učebně. Teoretické hodnoty pro síť 802.11n v pásmu 2,4 GHz jsou 190 Mb/s a pro pásmo 5 GHz je to 300 Mb/s.

7.1 Sít' s jedním AP

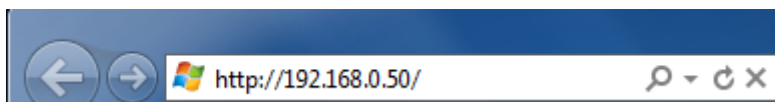
Bezdrátová síť byla sestavena z AP D-Link DAP2553, který byl připojen k WAN (Wide Area Network) síti v učebně PA-427. K tomuto AP byly připojeny dva notebooky Toshiba a ASUS. Toshiba byla připojena pomocí bezdrátového adaptéru Belkin double N+ wireless usb network adapter, který podporuje standardy 802.11n a 802.11e, které budou při měření využity. Notebook ASUS byl připojen pomocí kabelu a byl na něm generován provoz potřebný k měření.



Obrázek 12 - síť s jedním AP

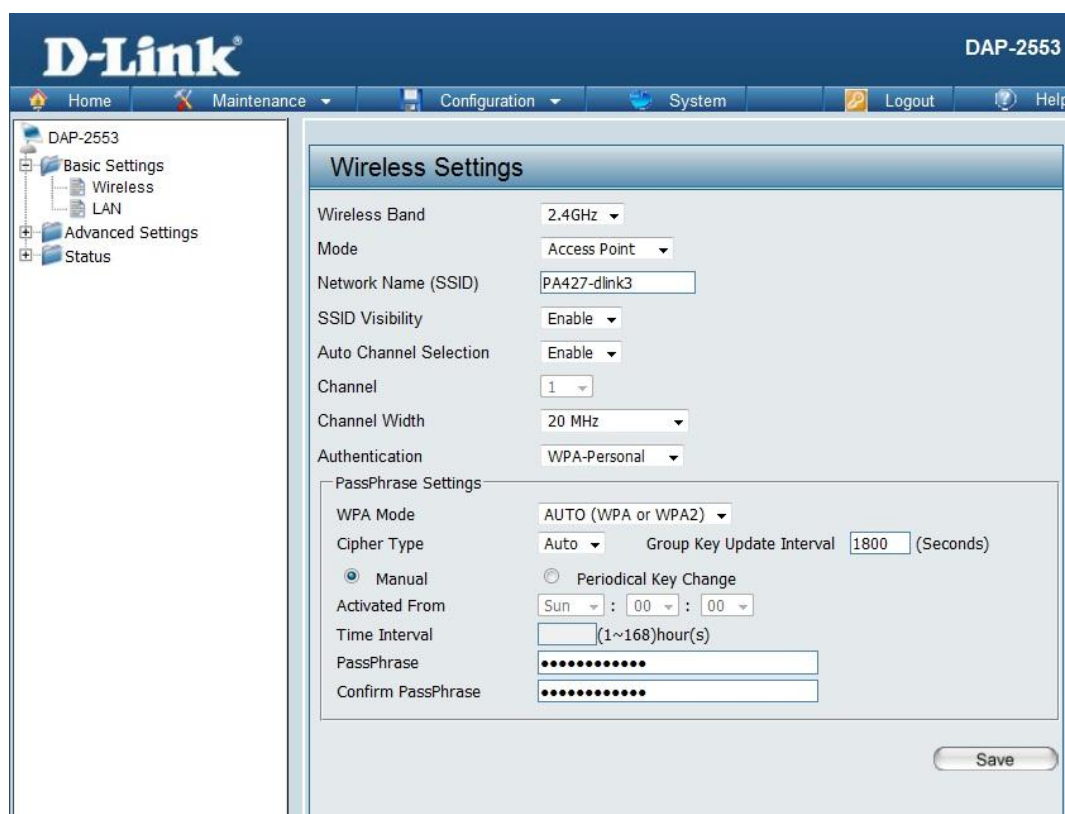
7.1.1 Sít' 802.11n 2,4 GHz bez nastavení QoS

Přístupový bod D-Link DAP 2553 byl připojen pomocí LAN kabelu k WAN síti D, která je rozvedena po učebně PA-427. D-Link DAP 2553 podporuje také PoE (Power over Ethernet), což je také poskytováno sítí D, a tedy není nutno připojovat napájecí zdroj. Pomocí počítače, který bylo třeba připojit k AP, bylo nutno se připojit přes webový prohlížeč do konfiguračního prostředí přístupového bodu.



Obrázek 13 – připojení k AP

Adresa pro připojení je uvedena v manuálu AP dostupném na stránkách výrobce www.dlink.com, pokud tato adresa nebyla předem změněna. Dále bylo nutno vyplnit přihlašovací údaje, které jsou v základním nastavení: user name: admin a Password: admin. Po přihlášení je vhodné se seznámit s konfiguračním prostředím použitého přístupového bodu D-Link. Dalším krokem bylo vytvoření bezdrátové sítě. V záložce Basic Settings je záložka Wireless. Nastavení bezdrátové sítě 802.11n bylo provedeno viz obrázek 14.



Obrázek 14 -nastavení sítě 2,4 GHz

Před měřením hodnot bez povolení služeb QoS bylo potřeba zjistit, zda byla v záložce Advanced setting v podsložce Performance hodnota WMM (Wi-Fi Multimedia) nastavena na Disable.

Po vyplnění nastavení -> Save -> Configuration -> Save and Activate.

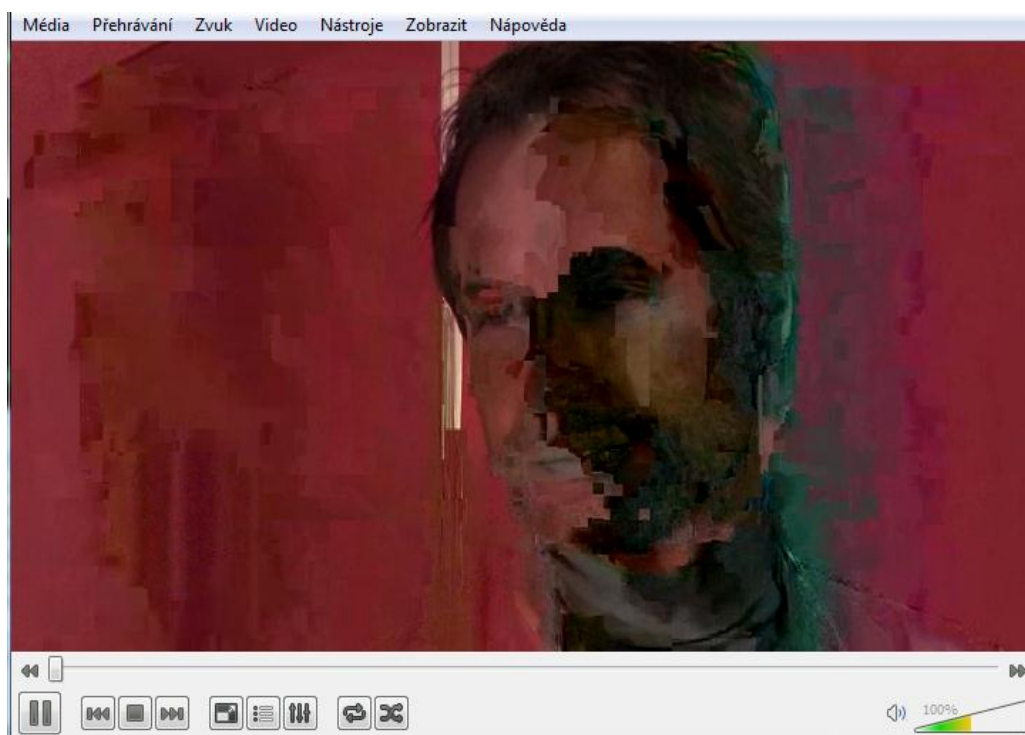
Následovalo čekání 60 s a po uplynutí této doby byla aktivní bezdrátová síť 2,4 GHz, jež bylo k vidění i na předním panelu routeru, kde svítila zelená signalizace této sítě.

Měření schopností sítě typu Best Effort, tedy sítě bez jakékoliv podpory QoS. Na počítači připojenému k síti pomocí kabelu bylo nastaveno proudové vysílání pomocí programu VLC player. Streamování se spustí pod záložkou media -> proud -> přidat video -> proud -> další -> nový cíl RTP -> přidat -> IP adresa notebooku (port 5004) -> proud. Dále byl spuštěn program JPerf 2.0, pomocí

kterého byl simulován VoIP hovor. Položka iPerf Mode byla ponechána na client -> server address byla IP adresa notebooku -> port např. 5060 -> transmit hodnota 60, což udává délku vysílání -> Transport layer option přepnout na UDP a šířku pásma nastavit na 100 kbytes/sec -> start JPerf. Poslední aplikací bylo spuštění programu ping v příkazové řádce na notebook pomocí příkazu: ping „IP adresa notebooku“ – n 60.

Na notebooku Toshiba byl spuštěn také vlc media player -> média -> otevřít síťový proud -> do pole určeného pro síťovou adresu byla zadána adresa vysílaného streamu v podobě „rtsp://@:5004“. Dalším použitým programem na notebooku byl program JPerf, ve kterém bylo nutno přepnout pole na server -> listen port hodnota 5060 -> v záložce Transport layer options přepnout na UDP -> start JPerf. Pro zatížení sítě bylo zapnuto stahování z ftp serveru (v tomto případě byl na notebooku ASUS zapnut server pomocí programu CesarFTP z něhož byl kopírován soubor).

Při sledování streamovaného videa bez zatížení sítě ostatními programy a stahováním z ftp serveru, bylo video plynulé, obraz nerozmazaný a zvuk nedeformovaný. Po zapnutí zatížení sítě bylo vidět výrazné zhoršení v přijímaném videu viz Obrázek 15.



Obrázek 15 - video při zatížení sítě bez QoS

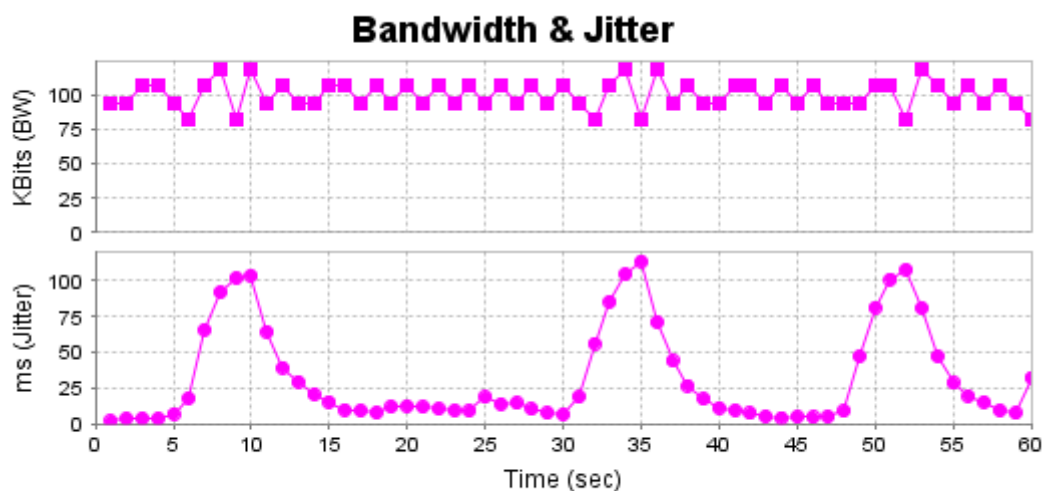
Video bylo kostkované, zvuk byl v nepříjemné kvalitě, občas se objevil i úplný výpadek videa na dobu, která je při sledování videa nepřijatelná.

Na obrázcích 16 a 17 je výstup programu JPERF. Na obrázku 16 je vidět propustnost a kolísání (jitter) sítě v nezatížené síti bez nastavení jakýchkoliv priorit. V tabulce 6 jsou zobrazeny výsledky

programu ping, pomocí kterého bylo měřeno zpoždění mezi stanicemi, na notebook s nezatíženou sítí a se zatíženou sítí.

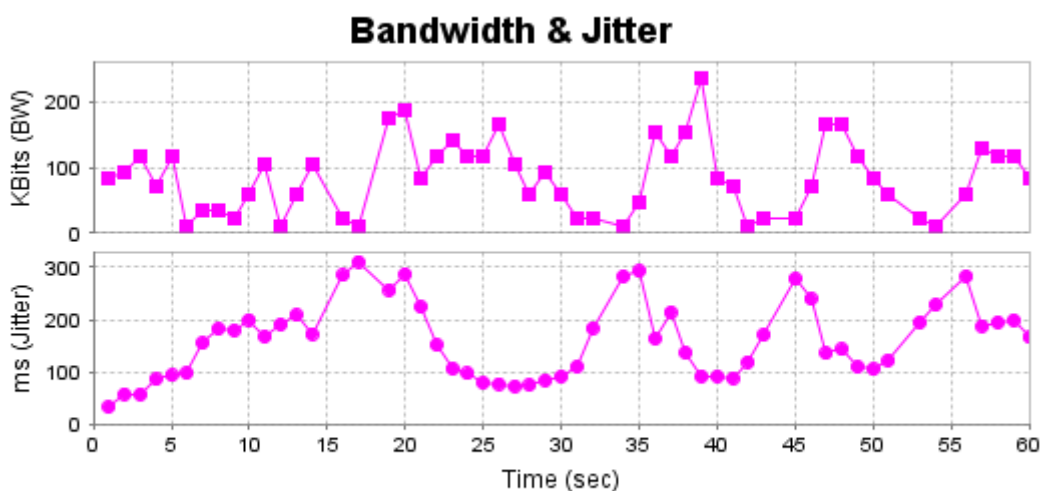
Tabulka 6- ping s vypnutou podporou QoS

ping 60 s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	27	3347
průměr [ms]	6	341
ztrátovost	0 %	5 %



#112: [99,80KBits/s]
Jitter: [53,04ms]

Obrázek 16 - propustnost a kolísání zpoždění u nezatížené sítě s vypnutou podporou QoS



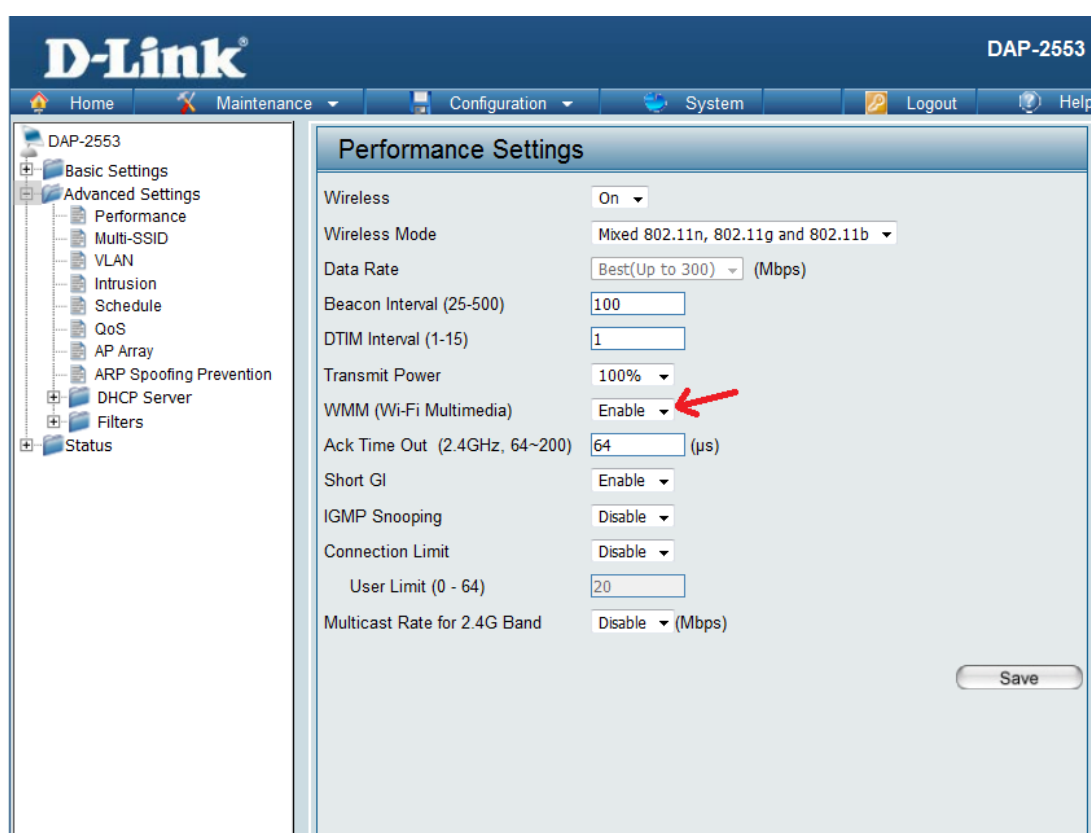
#112: [79,50KBits/s]
Jitter: [94,19ms]

Obrázek 17 – propustnost a kolísání zpoždění u zatížené sítě s vypnutou podporou QoS

Z tabulky 6 vyplývá, že při zatížení sítě nedošlo sice k žádné ztrátě paketů, ale průměrná doba odezvy se zvýšila téměř na šedesátinásobek, což je u přenosu citlivých dat nežádoucí. Z grafů na obrázcích 16 a 17 lze vyčíst, jak se změní propustnost a hodnota kolísání při zatížení sítě. Maximální hodnota jitteru je u nezatížené sítě 125 ms a to ve třech bodech, kde mohlo dojít k nežádoucímu rušení jinou bezdrátovou sítí, co je také vidět na zakolísání hodnoty propustnosti. Při zatížení sítě bez nastavení podpory QoS lze pozorovat vysoké zvýšení kolísavosti hodnoty jitter až na hodnotu 300 ms, což je víc než dvojnásobek, u křivky propustnosti lze vidět vysoký rozkmit hodnot, který by při IP telefonii způsobil výpadky hovoru nebo vysoké snížení kvality.

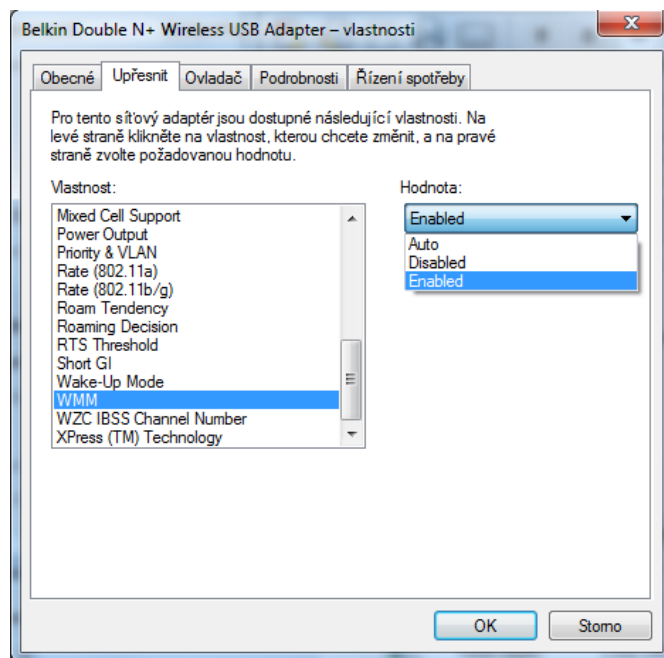
7.1.2 Sít' 802.11n 2,4 GHz s nastavením QoS

Nastavení parametrů QoS bylo nutno povolit jak u AP D-Link, tak také v samotném notebooku v nastavení síťového adaptéru Belkin, u některých aplikací pro přenos multimédií se tyto služby musí nastavit v samotném programu. QoS se u AP D-Link povolí podle obrázku 18.



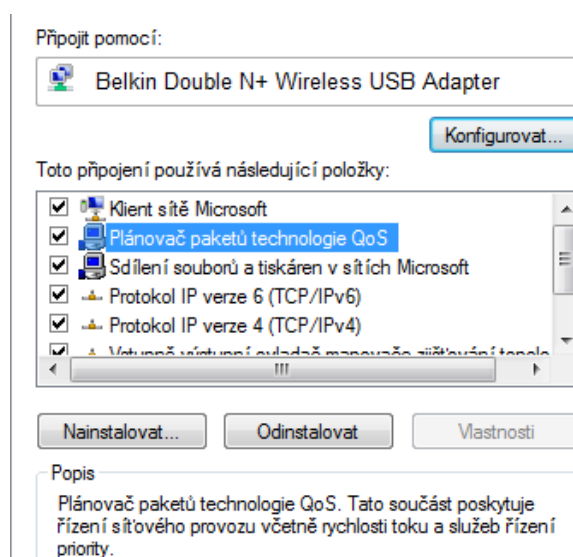
Obrázek 18- povolení podpory QoS pro Wi-Fi

Povolení QoS pro Wi-Fi u bezdrátového adaptéru se ve Windows 7 provede následujícím způsobem: Ovládací panely -> síť a internet -> centrum síťových připojení a sdílení -> bezdrátové připojení k síti (název testované sítě) -> vlastnosti -> pole připojit pomocí (Belkin Double N+ Wireless USB adapter)-> konfigurovat -> upřesnit -> více viz obrázek 19.



Obrázek 19- povolení podpory QoS na síťovém adaptéru

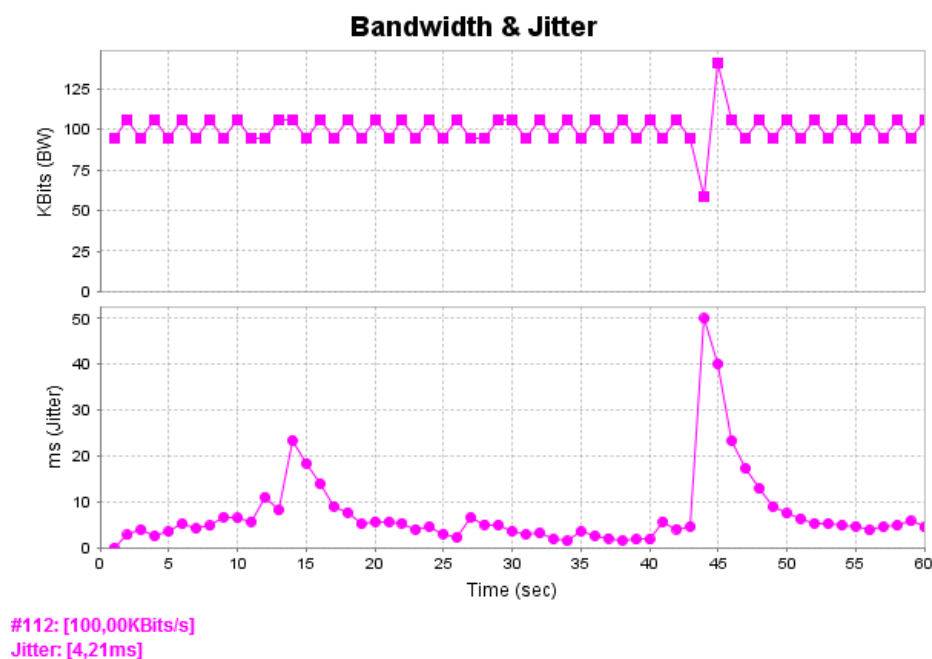
V poslední řadě bylo nutno zkontrolovat, zda je ve Windows7 nainstalována služba Plánovač paketů technologie QoS. Tato služba je síťový komponent, který zajišťuje ve Windows přidělení priorit datům. Zda je tato služba aktivní lze zjistit následujícím způsobem: ovládací panely -> síť a internet -> centrum síťových připojení a sdílení -> bezdrátové připojení k síti -> vlastnosti -> viz obrázek 20.



Obrázek 20 - Plánovač paketů technologie QoS

Pro měření vlastností sítě s povolenou podporou QoS byl použit stejný postup jako při měření sítě se zakázanou podporou QoS v bezdrátových sítích.

Výstup programu JPERF s povolenou podporou QoS bez zatížení sítě byl téměř stejný jako u měření bez povolení podpory kvalitativních služeb. Na obrázku 21. lze vyčíst jaký je průběh simulované hovoru VoIP hovoru pomocí programu JPERF.



Obrázek 21 - propustnost a kolísání zpoždění u zatížené sítě se zapnutou podporou QoS

Z grafů na obrázku 20 je patrné, že při zapnuté podpoře QoS pro bezdrátové sítě je přenos dat simulovaného VoIP hovoru mnohem stabilnější, maximální hodnota kolísání zpoždění se dostala na hodnotu 50 ms, což je v případě zatížené sítě o 250 ms méně a také je to maximální povolená hodnota jitteru při VoIP hovoru. Toto zakolísání mohlo být způsobeno rušením z jiné sítě pracující na stejném kanále. Streamované video bylo v dobré kvalitě bez jakéhokoliv pozastavování nebo změn zvukové stopy. Změna kvality obrazu streamovaného videa viz obrázek 22. Změna odezvy notebooku je k vidění v tabulce 7.

Tabulka 7 - ping se zapnutou podporou QoS

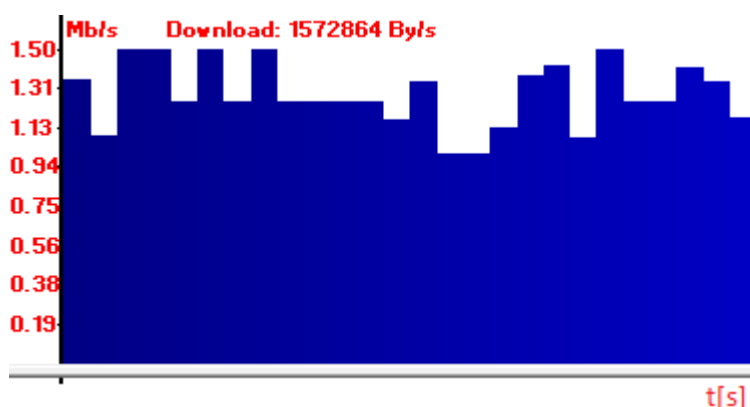
ping 60 s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	27	1144
průměr [ms]	6	19
ztrátovost	0 %	1 %

Z tabulky je patrné, že při zapnutí podpory kvalitativních služeb se výrazně snížila jak průměrná doba odezvy, tak ztrátovost, která je při přenosu citlivých dat důležitá.

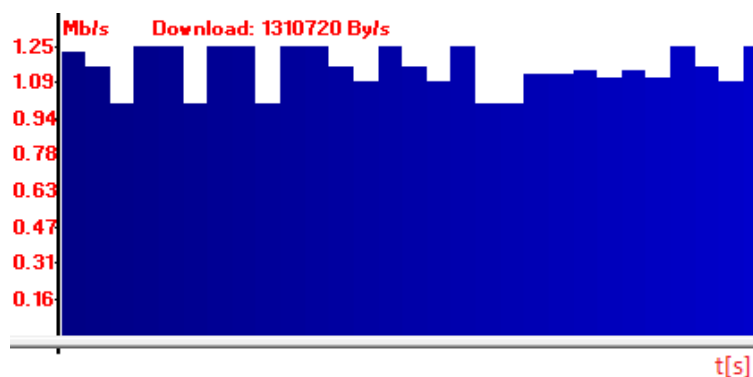


Obrázek 22 - video při zatížení sítě se zapnutou podporou QoS

Porovnání změny rychlosti FTP přenosu mezi přenosem s vypnutou podporou kvalitativních služeb a přenosem se zapnutou podporou kvalitativních služeb QoS je zobrazeno v obrázcích 23 a 24. Snímky byly pořízeny v programu použitým pro vytvoření FTP serveru CeasarFTP. Z obrázků je patrné snížení přenosové rychlosti FTP, což služba QoS vykonala, aby mohl být přenos multimediálních dat plynulý.



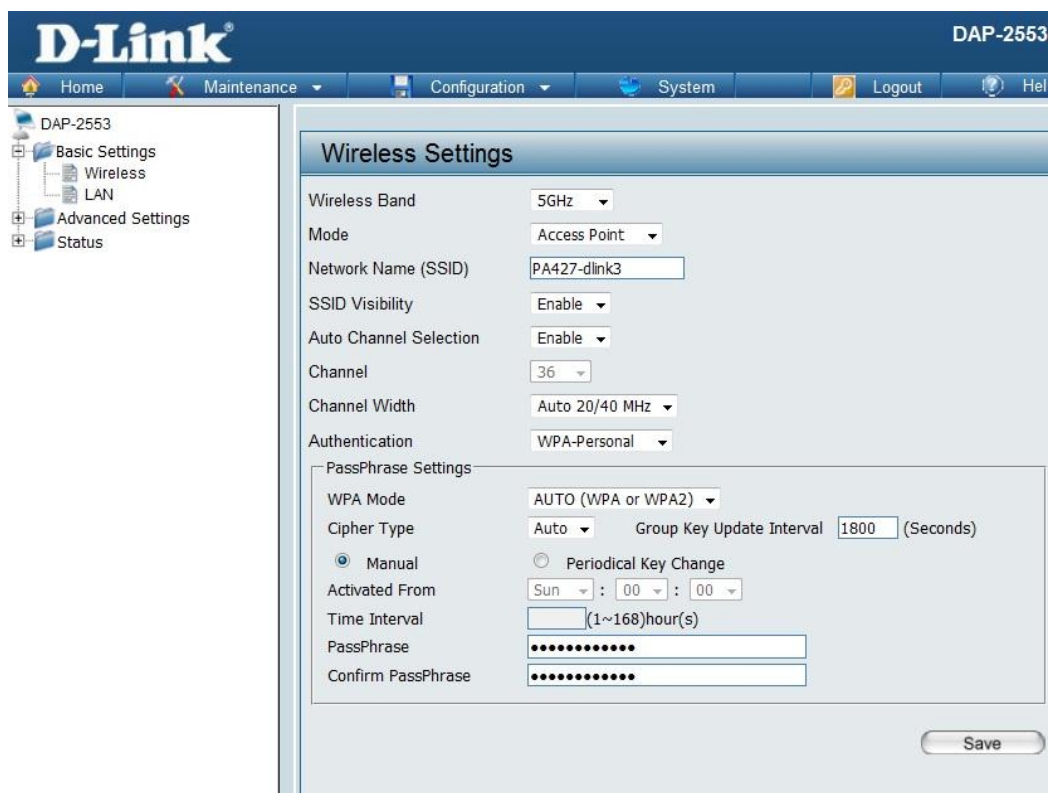
Obrázek 23 - rychlost FTP přenosu při vypnuté podpoře QoS



Obrázek 24 - rychlost FTP přenosu při zapnuté podpoře QoS

7.1.3 Síť 802.11n 5 GHz bez nastavení QoS

Pro změnu sítě z 2,4 GHz na 5 GHz bylo třeba změnit nastavení v AP D-Link. Ve složce Wireless je třeba změnit hodnotu wireless band na 5 GHz a hodnotu channel width Auto 20/40 MHz jak je uvedeno v manuálu k zařízení. Nastavení viz obrázek 25.



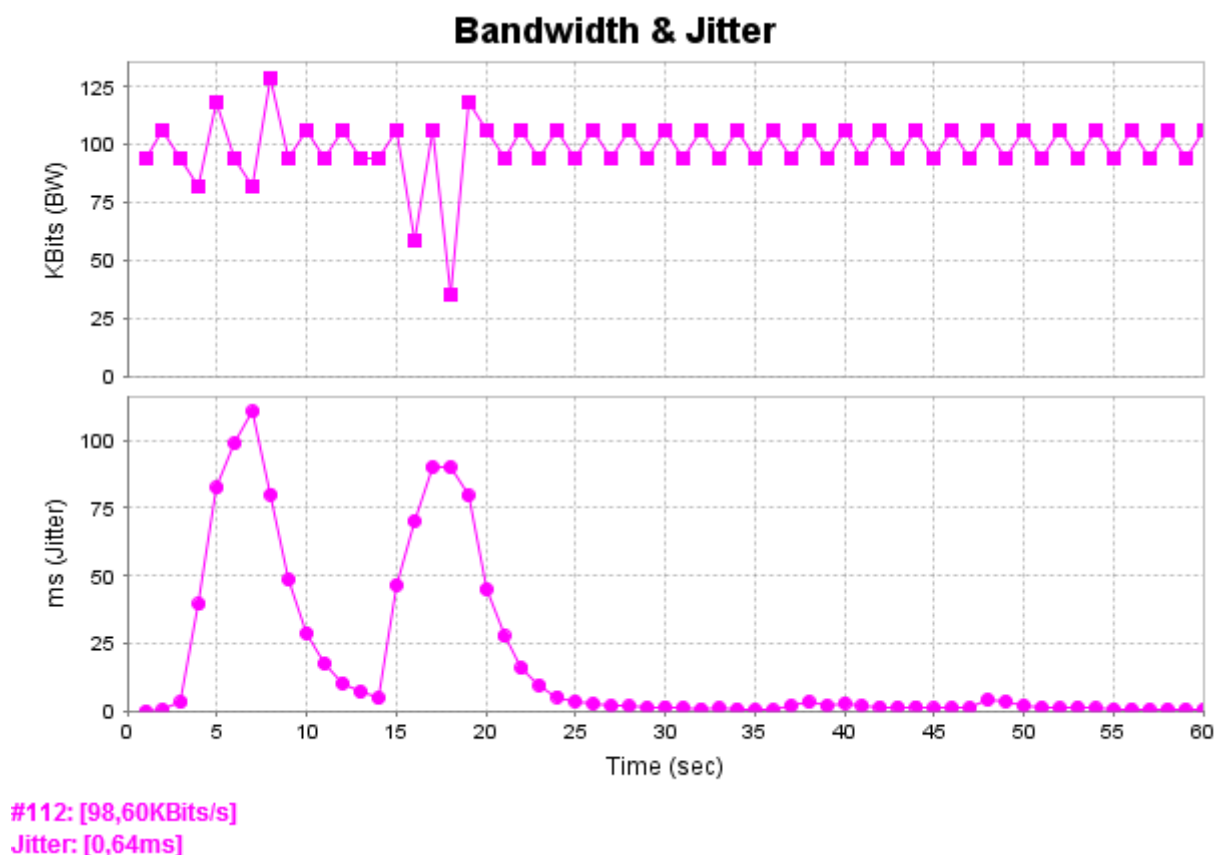
Obrázek 25 - nastavení AP D-Link 5 GHz

Pro měření vlastností sítě bez podpory kvalitativních parametrů bylo třeba tuto službu v nastavení AP vypnout -> přepnout na položku disable viz Obrázek 18.

Rozdíl mezi rychlostí přenosu sítě 2,4 GHz a 5 GHz je možno vidět na obrázcích číslo 10 a 11. Při pozorování propustnosti a kolísání paketů u nezatížené sítě v programu JPERF není k vidění velkých rozdílů od sítě 2,4 GHz. Při zatížené síti ftp přenosem, streamováním videa a programem ping z druhé počítačové stanice je u této sítě možnost zpozorovat vysoké zlepšení od bezdrátové sítě pracující na frekvenci 2,4 GHz viz obrázek 24. Hodnoty odezvy zjištěné pomocí funkce ping jsou zobrazeny v tabulce 8.

Tabulka 8 - ping s vypnutou podporou Qos u sítě 5 GHz

ping 60 s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	0
max. odezva [ms]	3	204
průměr [ms]	1	16
ztrátovost	0%	3%



Obrázek 26 - zatížená síť 5 GHz bez povolené podpory QoS

Z předchozích grafů na obrázku 26 je jasné, že zlepšení kvality přenosu u sítě 5 GHz je vysoké, ovšem přenos není stále ideální, v některých místech průběhu lze zpozorovat kolísání šířky pásma, což u multimediálních přenosů není vhodné. Toto zakolísání mohlo být způsobeno rušením jiní sítě.

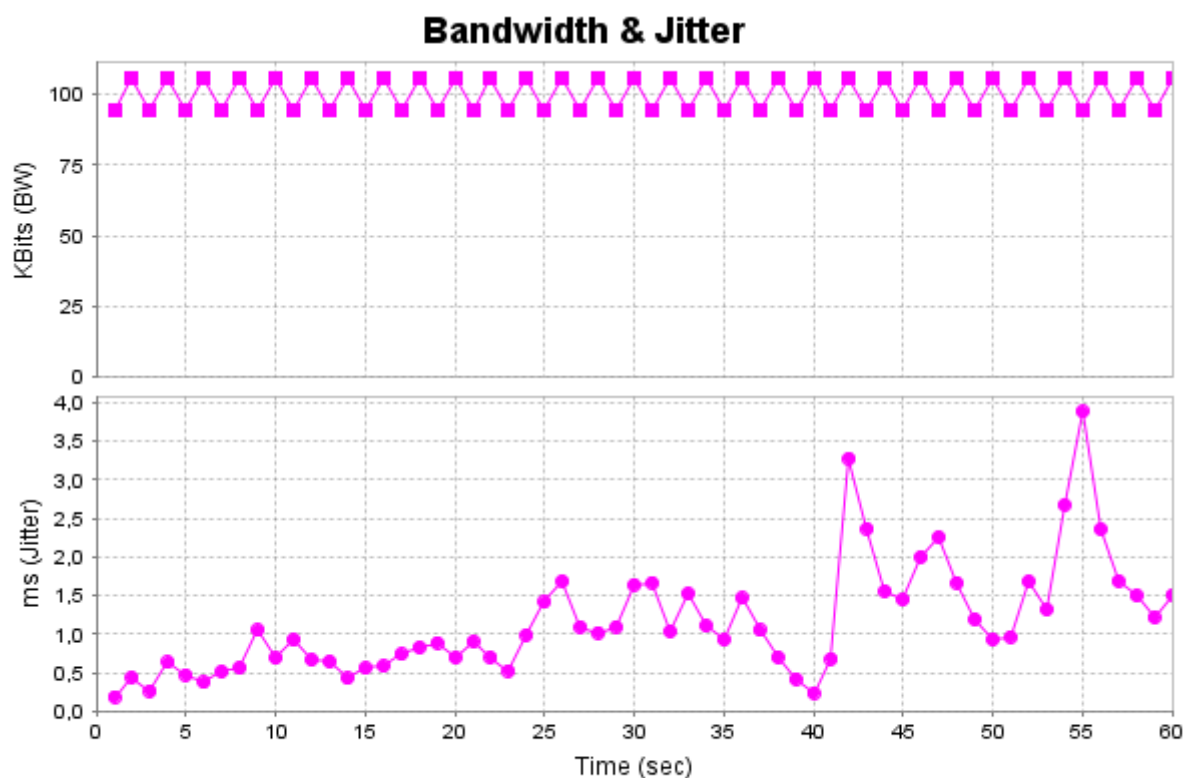
7.1.4 Síť 802.11n 5 GHz s nastavením QoS

Povolení podpory QoS se provede stejným způsobem jako v kapitole 7.1.2.

Z naměřených hodnot zobrazených na obrázku 27 a v tabulce 9, je zřejmé, že při využití sítě 5 GHz se zapnutou podporou QoS, je průběh šířky pásma konstantní, maximální hodnota jitter se dostala na hodnotu 4 ms, což je proti hodnotě 100 ms, která byla zjištěna u 5 GHz, zanedbatelné. Průměrná odezva je 4 krát menší než v předchozím případě.

Tabulka 9- ping u sítě 5 GHz se zapnutou podporou QoS

ping 60s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	3	139
Průměr [ms]	1	4
ztrátovost	0%	0%

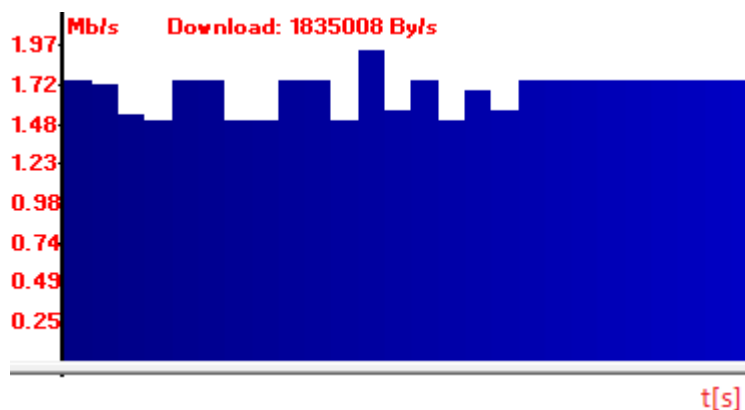


#112: [100,00KB/s]
Jitter: [1,45ms]

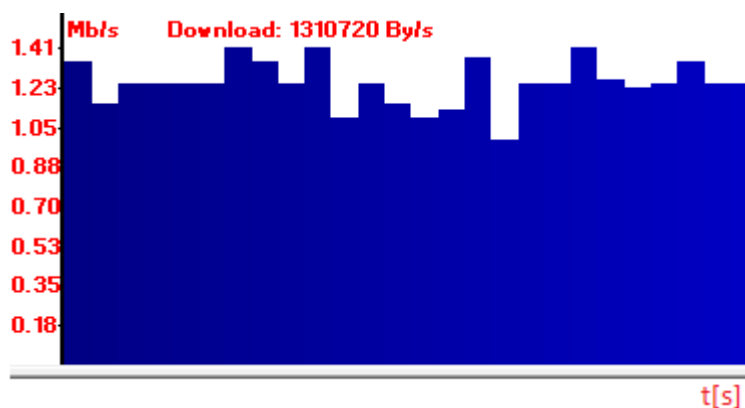
Obrázek 27 - zatížená síť 5GHz s povolenou podporou QoS

Z naměřených hodnot lze usoudit, že zapnutí služeb pro podporu kvalitativních služeb v bezdrátových sítích vedlo ke zlepšení přenosu dat, která jsou citlivá na přenos v reálném čase. Dále bylo možné zpozorovat rozdíl mezi sítěmi 2,4 a 5 GHz, kde se projevilo, že síť 5 GHz má mnohem lepší přenosové vlastnosti než síť pracující ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz.

Rozdíl mezi rychlostí FTP přenosu při zatížené síti s vypnutou a zapnutou podporou kvalitativních požadavků QoS je znázorněn na obrázcích 28 a 29.



Obrázek 28 - rychlost FTP přenosu při vypnuté podpoře QoS



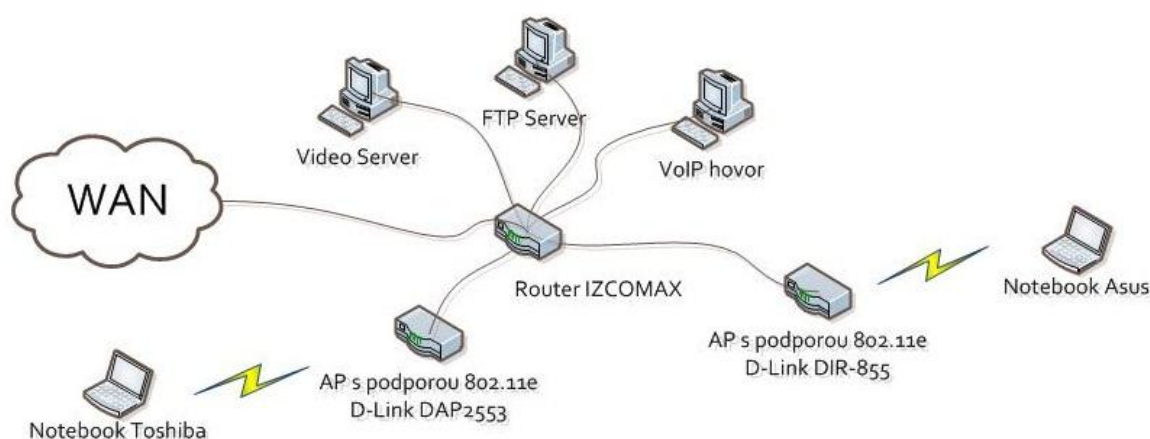
Obrázek 29 - rychlost FTP přenosu při zapnuté podpoře QoS

Z grafů na obrázcích 28 a 29 je stejně jako u sítě 2,4 GHz patrné, že při zapnutí podpory kvalitativních služeb QoS, dojde ke snížení rychlosti FTP přenosu a to proto, aby bylo možné zvýšit kvalitu přenosu dat v reálném čase jako je videohovor, proudové vysílání videa a další. Pravdivost tohoto tvrzení vyplývá z obrázků 24 a 25, kde jsou zobrazeny průběhy šířky pásma a kolísání zpoždění opatřené v programu JPERF, kterým byla provedena simulace hovoru VoIP při zapnuté a vypnuté podpoře QoS.

Při měřeních provedených v předchozích podkapitolách byla dokázána funkčnost podpory kvalitativních požadavků služeb. V grafech se zapnutou podporou QoS je vidět mírné kolísání, ale v takových mezích, ve kterých by nedošlo k narušení potřebné kvality přenosu. Toto kolísání je pravděpodobně způsobeno rušením z jiných bezdrátových sítí, kterých se v učebně PA-427 nachází hodně, pracujících na stejném kanále. To bylo možné z důvodu zvolení automatického výběru kanálu při nastavení bezdrátových sítí.

7.2 Síť se dvěma AP

V síti se dvěma přístupovými body byly použity stejné komponenty jako v síti s jedním přístupovým bodem. Navíc byl využit přístupový bod D-Link DIR-855, router IZCOMAX a stolní počítač, který byl použit pro generování proudového videa, simulaci VoIP hovoru a také na něm byl spuštěn FTP server. Notebook Asus byl připojen k bezdrátové síti tvořené druhým přístupovým bodem D-Link DIR-855, za použití bezdrátového adaptéru AirLive Dualband .



Obrázek 30- síť se dvěma AP

7.2.1 Síť 802.11n 2,4 GHz bez nastavení QoS

Oba přístupové body byly připojeny k routeru IZCOMAX, protože měření se dvěma přístupovými body bylo prováděno v domácí síti. Nastavení přístupového bodu D-Link DAP 2553 bylo provedeno stejně jako v kapitole 7.1.1. Přístupový bod D-Link DIR-855 byl rovněž připojen k routeru IZCOMAX. Tento přístupový bod nepodporuje funkci PoE jako D-Link DAP 2553, tak k němu muselo být ještě připojeno napájení. Při zapojení D-Link DIR-855 v základním nastavení do sítě WAN jsou automaticky vygenerovány dvě bezdrátové sítě 2,4 GHz a 5 GHz obě ve standardu 802.11n, což je také možné zobrazit na displeji umístěném na samotném AP. Pro zobrazení informací na displeji o připojených stanicích, rychlostech přenosu, generovaných bezdrátových sítích a dalších, jsou k dispozici dvě tlačítka umístěná vedle displeje. Postup je uveden v manuálu, který je volně dostupný na stránkách výrobce www.d-link.com. Připojení k přístupovému bodu bylo provedeno pomocí automaticky generované bezdrátové sítě s názvem dlink, který je uveden v manuálu. Po připojení k této síti je umožněno se připojit k přístupovému bodu pomocí adresy 192.168.0.1. Přihlašovací jméno k AP je admin a heslo se nevyplňuje žádné, pokud to nebude nastaveno jinak.

Po připojení k hlavnímu menu přístupového bodu D-Link DIR-855 je zobrazen status o připojení k síti WAN viz obrázek 31.

Product Page: DIR-855

Hardware Version: A2 Firmware Version: 1.21EU

DIR-855

SETUP

ADVANCED

TOOLS

STATUS

SUPPORT

DEVICE INFO

LOGS

STATISTICS

INTERNET SESSIONS

WIRELESS

WISH SESSIONS

English

DEVICE INFORMATION

All of your Internet and network connection details are displayed on this page. The firmware version is also displayed here.

GENERAL

Time : 31. leden 2004 21:42:58
Firmware Version : 1.21EU, 2010/01/15

WAN

Connection Type : DHCP Client
QoS Engine : Active
Cable Status : Connected
Network Status : Established
Connection Up Time : 0 Day 0 Hour 01 Min 15 Sec

Renew

Release

MAC Address : 00:18:E7:F0:BF:1A
IP Address : 192.168.110.154
Subnet Mask : 255.255.255.0
Default Gateway : 192.168.110.1
Primary DNS Server : 204.194.232.200
Secondary DNS Server : 204.194.234.200
Advanced DNS : Enabled

Helpful Hints...

All of your WAN and LAN connection details are displayed here.

More...

Obrázek 31 - informace o zařízení D-Link DIR-855

Na obrázku 32 jsou informace o bezdrátových sítích generovaných přístupovým bodem, které je možno zobrazit v podsložce wireless.

WIRELESS LAN

Wireless Band : 2.4GHz Band
Wireless Radio : Enabled
802.11 Mode : Mixed 802.11n, 802.11g and 802.11b
Channel Width : 20MHz
Channel : 8
WISH : Active
Wi-Fi Protected Setup : Enabled/Configured
Guest Wi-Fi Protected Setup : Enabled/Not Configured
SSID List

Network Name (SSID)	Guest	MAC Address	Security Mode
dlink	No	00:18:e7:f0:bf:19	Disabled

WIRELESS LAN

Wireless Band : 5GHz Band
Wireless Radio : Enabled
802.11 Mode : Mixed 802.11n and 802.11a
Channel Width : 20MHz
Channel : 48
WISH : Active
Wi-Fi Protected Setup : Enabled/Configured
Guest Wi-Fi Protected Setup : Enabled/Not Configured
SSID List

Network Name (SSID)	Guest	MAC Address	Security Mode
dlinkDIR855	No	00:18:e7:f0:bf:1b	WPA2 Only - Personal

Obrázek 32 - informace o bezdrátových sítích generovaných přístupovým bodem

Pro měření s vypnutou podporou QoS bylo nutné si ověřit, zda je služba opravdu vypnutá. V záložce advanced podzáložka advanced wireless nesmí být označeno pole WMM enable viz obrázek 33.

Product Page: DIR-855 Hardware Version: A2 Firmware Version: 1.21EU

D-Link

DIR-855 // SETUP ADVANCED TOOLS STATUS SUPPORT

ADVANCED WIRELESS

If you are not familiar with these Advanced Wireless settings, please read the help section before attempting to modify these settings.

Save Settings Don't Save Settings

ADVANCED WIRELESS SETTINGS

Wireless Band : 2.4GHz Band

Transmit Power : High

Beacon Period : 100 (20..1000)

RTS Threshold : 2346 (0..2347)

Fragmentation Threshold : 2346 (256..2346)

DTIM Interval : 1 (1..255)

WLAN Partition : ☐

WMM Enable : ☐ (indicated by a red arrow)

Short GI : ☒

ADVANCED WIRELESS SETTINGS

Wireless Band : 5GHz Band

Transmit Power : High

Beacon Period : 100 (20..1000)

RTS Threshold : 2346 (0..2347)

Fragmentation Threshold : 2346 (256..2346)

DTIM Interval : 1 (1..255)

WLAN Partition : ☐

WMM Enable : ☐ (indicated by a red arrow)

Short GI : ☒

Helpful Hints...

It is recommended that you leave these parameters at their default values. Adjusting them could limit the performance of your wireless network.

Enabling WMM can help control latency and jitter when transmitting multimedia content over a wireless connection.

More...

English

Obrázek 33 - ověření podpory QoS u bezdrátových sítí D-Link DIR-855

Po vypnutí podpory QoS v přístupových bodech bylo dále nutné vypnout tuto podporu také v samotných stanicích viz kapitola 7.1.2.

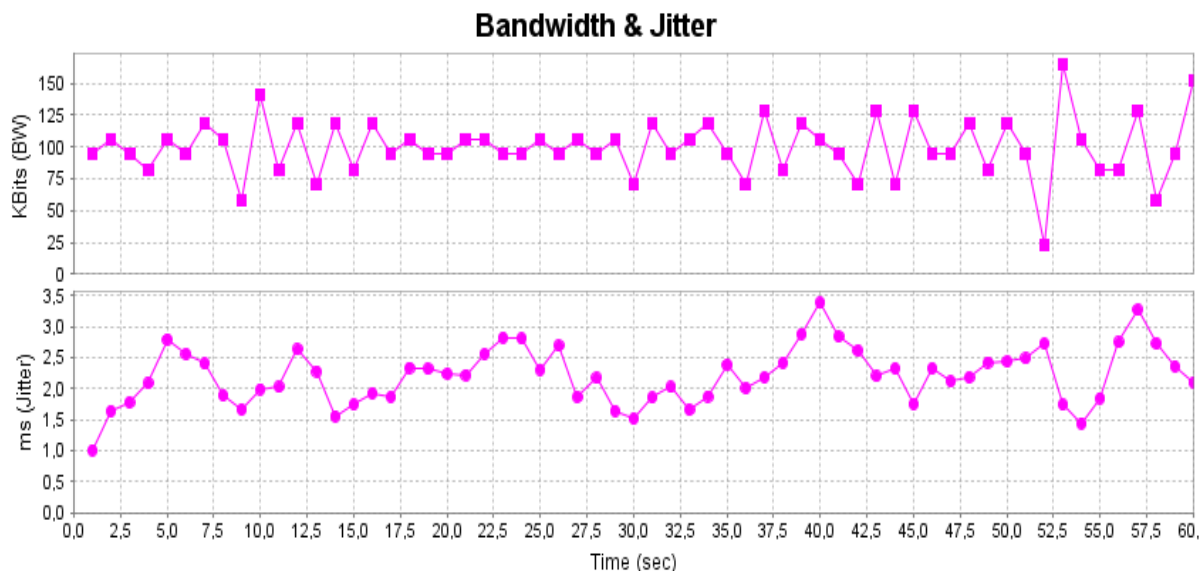
Samotné měření probíhalo stejným způsobem jako v případě s jedním AP, s tím rozdílem, že druhá měřicí stanice (notebook Asus) byla připojena k bezdrátové síti generované přístupovým bodem D-Link DIR-855. Síť byla zatěžována ftp přenosem, proudovým videem, simulovaným hovorem pomocí programu JPERF a programem ping. Všechny způsoby zátěže byly generovány na stolním počítači připojeném k routeru IZCOMAX a byly spuštěny na obou dvou stanicích připojených k různým bezdrátovým sítím. Zapnutí a nastavení jednotlivých programů je popsáno v kapitole 7.1.1.

V tabulce 10 a na obrázcích 34, 35 jsou zobrazeny časové průběhy změny šířky pásma a jitteru, ale také doba odezvy a ztrátovost při komunikaci s připojenými stanicemi.

Tabulka 10 - ping s vypnutou podporou QoS u sítě 2,4 GHz se dvěma AP

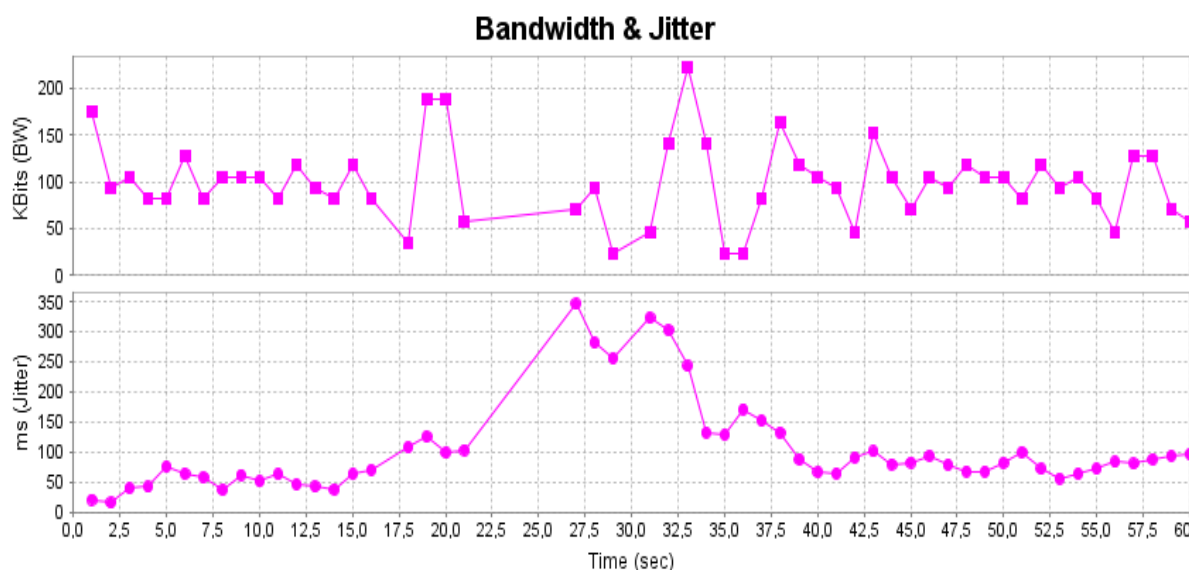
Toshiba		
ping 60 s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	10	1776
průměr [ms]	1	108
ztrátovost	0%	3%
Asus		
	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	0	0
max. odezva [ms]	7	3113
průměr [ms]	1	138
ztrátovost	1%	4%

Tabulka 10 znázorňuje, že vlastnosti připojení stanice ASUS připojené k přístupovému bodu D-Link DIR-855 pomocí adaptéru AirLive jsou horší než vlastnosti stanice Toshiba, která je připojena k přístupovému bodu D-Link DAP-2553 pomocí adaptéru Belkin, což může být způsobeno rušením na síť tvořenou AP D-Link DIR-855 nebo také horší kvalitou bezdrátového adaptéru použitého pro připojení k této síti.



#112: [99,80KB/s]
Jitter: [2,40ms]

Obrázek 34 - zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DAP 2553) s vypnutou podporou QoS



#112: [88,00KBits/s]
Jitter: [122,80ms]

Obrázek 35 - zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DIR-855) s vypnutou podporou QoS

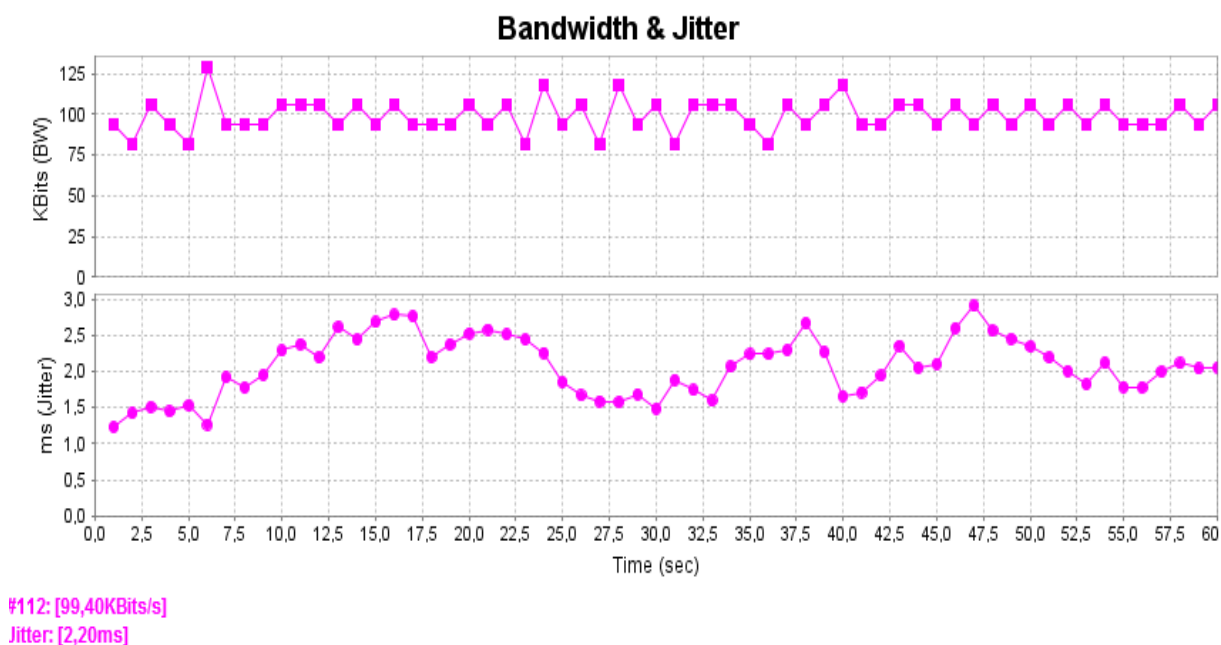
Horší kvalita připojení na stanici Asus je zobrazena v grafech na obrázcích 34 a 35, které znázorňují průběhy šířky pásma a jitteru u simulovaného hovoru při zatížené síti u obou stanic. Na obrázku 35 je kolísavost šířky pásma i jitteru vyšší než na obrázku 34, u jitteru je to až o více než 300 ms. Při takto zatížených sítích bylo video přijímané na obou stanicích hodně rozmazané a často se pozastavovalo => bylo v nesledovatelné kvalitě. Průběh hovoru by podle průběhu dvou grafů na obrázcích nebyl ani na jedné stanici plynulý. Na stanici Asus ,které odpovídá obrázek 35, byla kvalita jak hovoru, tak přijímaného videa ještě o něco horší.

7.2.2 Síť 802.11n 2,4 GHz s nastavením QoS

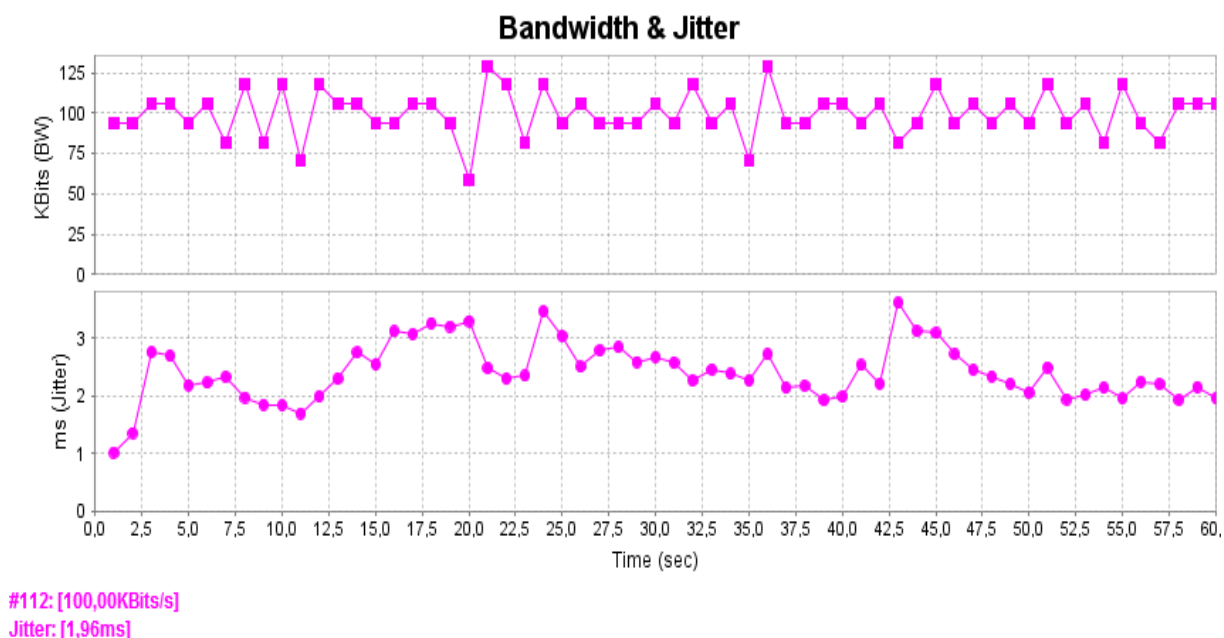
Tabulka 11- ping se zapnutou podporou QoS u sítě 2,4 GHz se dvěma AP

Toshiba		
ping 60s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	10	18
průměr [ms]	1	4
ztrátovost	0%	0%
Asus		
	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	0	0
max. odezva [ms]	7	26
průměr [ms]	1	2
ztrátovost	1%	0%

Podporu kvalitativních služeb bylo nutné povolit jak na obou stanicích, tak na obou přístupových bodech. Na počítačových stanicích se podpora služeb QoS povolila stejně jako v kapitole 7.1.2. Podpora QoS u přístupového bodu D-Link DAP-2553 byla taktéž provedena jako v kapitole 7.1.2. U přístupového bodu D-Link DIR-855 byla podpora kvalitativních služeb povolena dle obrázku 33. Měření bylo provedeno stejně jako v předchozí kapitole.



Obrázek 36- zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DAP 2553) se zapnutou podporou QoS



Obrázek 37 - zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DIR-855) se zapnutou podporou QoS

Na obrázcích 36, 37 a v tabulce 11 jsou zaznamenány průběhy a hodnoty šířky pásma, jitteru, doby odezvy a ztrátovosti na obou dvou počítačových stanicích připojených k bezdrátovým sítím. Z tabulky 11 vyplývá, že při zapnuté podpoře QoS, se doba odezvy na obě dvě stanice sníží a také se sníží ztrátovost paketů. Z grafů viz obrázky 36 a 37 lze vyčíst pozitivní změny, obzvlášť tedy u stanice Asus připojené k přístupovému bodu D-Link DIR-855 jsou vidět velké změny k lepšímu. U hodnoty jitter se maximální hodnota snížila téměř o 350 ms. Zvýšení kvality hovoru a proudového videa bylo způsobeno na úkor snížení rychlosti ftp přenosu. Hodnota snížení rychlosti ftp přenosu byla téměř stejná jako v předchozí kapitole 7.1. Kvalita proudového videa byla na obou stanicích sledovatelná, ojediněle došlo k menšímu pozastavení, což by na sledovatelnost nemělo velký vliv, u stanice Asus se tento jev objevil trochu častěji než u stanice Toshiba. Jednou bylo zpozorováno i mírné rozmazání obrazu.

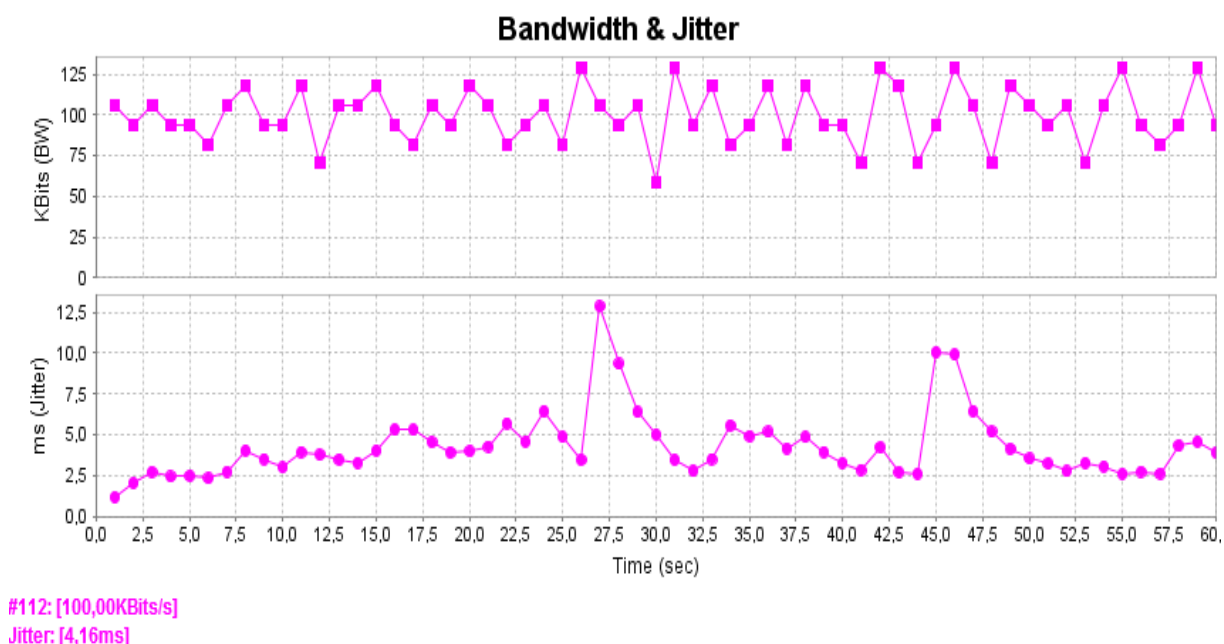
7.2.3 Síť 802.11n 5 GHz bez nastavení QoS

Provedení měření u bezdrátové sítě standardu 802.11n 5 GHz si vyžádalo změnit nastavení bezdrátové sítě vysílané přístupovým bodem D-Link DAP 2553 viz kapitola 7.1.3, před restartováním přístupového bodu pro uložení nastavení 5 GHz sítě byla rovnou vypnuta podpora kvalitativních služeb viz kapitola 7.1.2. Podpora kvality služeb byla také vypnuta na obou počítačových stanicích, na které byl generován provoz. U AP D-Link DIR-855 bylo nutné pouze vypnout podporu QoS viz obrázek 33 u bezdrátové sítě 5 GHz. Stanici Asus bylo nutné připojit k síti s frekvencí 5 GHz, která má automaticky přiřazen název dlink_multimedia. Postup měření byl stejný jako v kapitole 7.2.1.

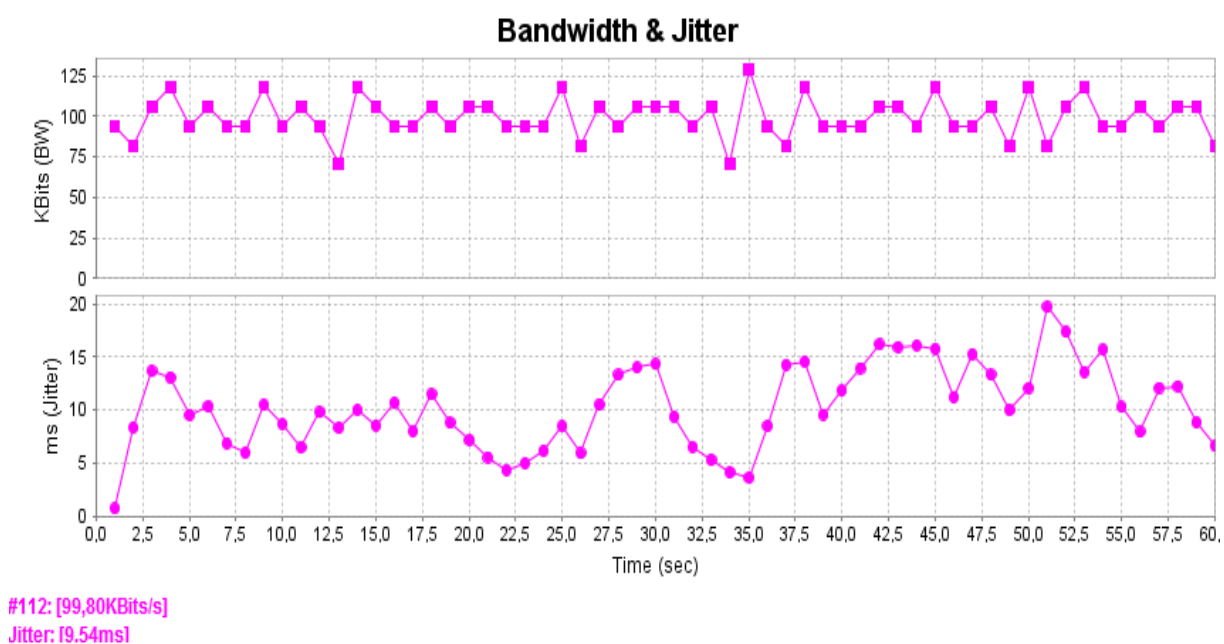
Tabulka 12 - ping s vypnutou podporou QoS u sítě 5 GHz se dvěma AP

Toshiba		
ping 60s	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	3	15
průměr [ms]	1	7
ztrátovost	0%	0%
Asus		
	nezatížená síť	zatížená síť
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	3	38
průměr [ms]	1	10
ztrátovost	0%	0%

Z výsledků uvedených v tabulce 12, které udávají hodnoty odezvy a ztrátovosti paketů, lze zpozorovat rozdíly mezi sítěmi 2,4 a 5 GHz při použití dvou přístupových bodů. Z výsledků je zřejmé, že se maximální i průměrná doba odezvy snížila cca o desetinásobek. Ztrátovost paketů byla 0%, což u sítě 2,4 GHz nebylo, ztráta paketů činila 3 % a 4 %. Obrázky 38 a 39 zobrazují průběhy šířky pásma a jitteru u zatížené síti 5 GHz bez podpory QoS.



Obrázek 38 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DAP 2553) s vypnutou podporou QoS



Obrázek 39 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DIR-855) s vypnutou podporou QoS

Naměřené výsledky viz grafy v obrázcích 38 a 39 ukazují o kolik je přenos dat lepší u sítě 5 GHz v porovnání se sítí 2,4 GHz s vypnutou podporou QoS. Rovněž z nich vyplývá, o kolik se snížila kolísavost průběhu šířky pásma a také jitteru. K výrazným změnám došlo především u stanice Asus, kde změny dosahují vysokých hodnot. Kvalita proudového videa byla dostačující, i když někdy docházelo k mírnému pozastavení, které bylo zanedbatelné.

7.2.4 Sít' 802.11n 5 GHz s nastavením QoS

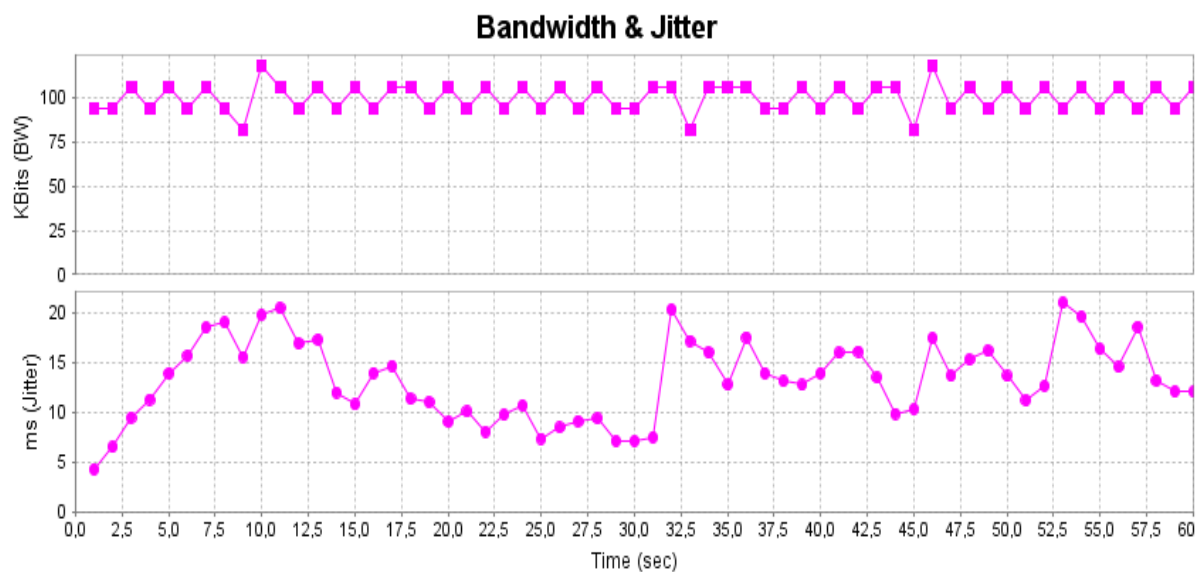
Nastavení podpory QoS se provede dle postupu jako v kapitole 7.2.2 pouze s tím rozdílem, že u přístupového bodu D-Link DIR-855 se povolení podpory kvalitativních služeb v bezdrátových sítích provede pro sít' 5 GHz dlink_multimedia. V tabulce 13 jsou naměřené hodnoty programem ping.

Tabulka 13 - ping se zapnutou podporou QoS u sítě 5 GHz se dvěma AP

Toshiba		
ping 60 s	nezatížená sít'	zatížená sít'
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	3	8
průměr [ms]	1	2
ztrátovost	0%	0%
Asus		
	nezatížená sít'	zatížená sít'
min. odezva [ms]	1	1
max. odezva [ms]	3	10
průměr [ms]	1	3
ztrátovost	0%	0%

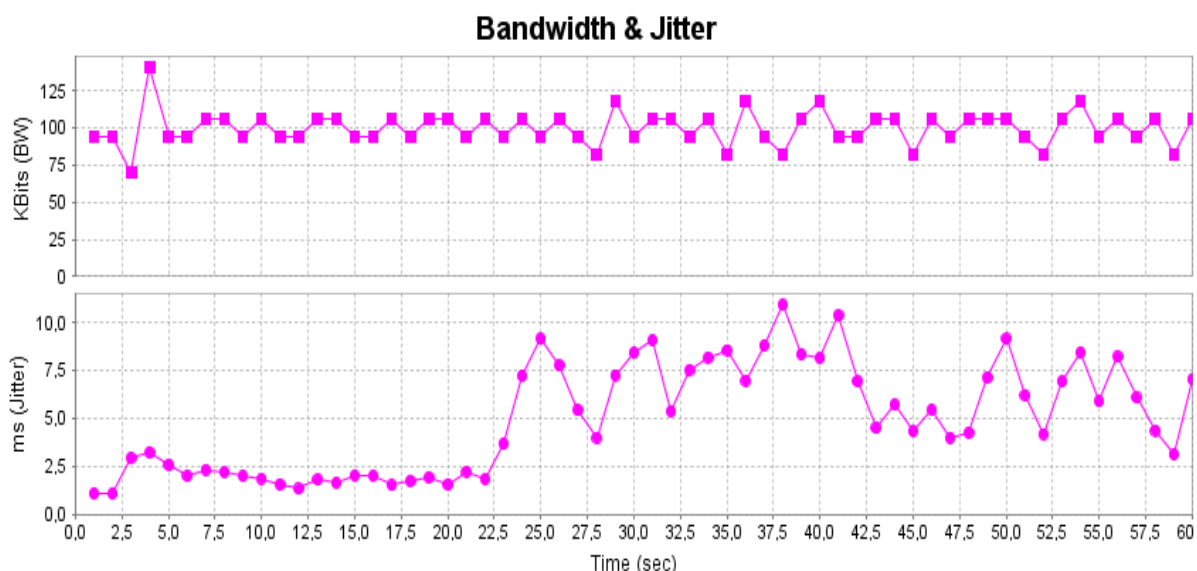
Hodnoty odezvy ukazují snížení v porovnání se zatíženou sítí bez podpory kvality služeb QoS. Doby odezvy u nezatížené sítě se nezměnily. Hodnoty odezvy se snížily o cca dvojnásobek až trojnásobek, zatímco u sítě 2,4 GHz se hodnoty snížily cca o desetinásobek doby odezvy. U sledování streamovaného videa se nejevily žádné problémy jako např. kostkovaný obraz nebo pozastavování přehrávání. Obraz byl kvalitní na obou dvou stanicích. U FTP přenosu došlo k malému snížení přenosové rychlosti téměř tak jak tomu bylo v u zapojení s jedním AP viz kapitola 7.1.4.

V obrázcích 40 a 41 jsou zaznamenány průběhy simulovaného VoIP hovoru. V grafech jsou zobrazeny průběhy šířky pásma a jitteru.



#112: [100,00KBits/s]
Jitter: [11,50ms]

Obrázek 40 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DAP 2553) se zapnutou podporou QoS



#112: [100,00KBits/s]
Jitter: [6,61ms]

Obrázek 41 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DIR-855) se zapnutou podporou QoS

Z grafů na obrázcích 40 a 41 lze určit změnu oproti zatížené síti bez podpory QoS. Grafy dokazují, že se kvalita hovoru zlepšila, čemuž vypovídá snížení kolísavosti šířky pásma u obou stanic. Nicméně u stanice Asus je zlepšení méně viditelné, což je nejspíš způsobeno horší kvalitou přijímače. A i když není průběh tak plynulý, jako tomu bylo u zapojení s jedním AP, tak je kapacita sítě dostatečná pro přenos multimediálních služeb.

V měřeních provedených v kapitole 7.2 byla zkoumána změna přenosových vlastností sítě jak bez podpory, tak s podporou kvalitativních požadavků služeb, při použití dvou přístupových bodů v jedné

síti. Z měření bylo dokázáno, že se přenosové vlastnosti v porovnání s použitím jednoho AP zhoršily. I když byla měření prováděna v domácí síti a ne v síti školní jako tomu bylo při měřeních s jedním AP, tak měly na naměřené hodnoty také nežádoucí vliv okolní sítě. Vysoké hodnoty kolísání naměřených hodnot v některých grafech byly pravděpodobně způsobeny rušením okolních bezdrátových sítí, kterých je v okolí využívané domácí sítě mnoho. U stanice Asus používající bezdrátový adaptér Airlive mohl mírně ovlivnit výsledky i samotný bezdrátový adaptér. Při použití adaptéru Belkin u stanice Asus a následném připojení k síti, ke které byla tato stanice připojena pomocí bezdrátového adaptéru Airlive, bylo zjištěno, že přenosové vlastnosti se zlepšily. Z toho lze usoudit, že bezdrátový adaptér Airlive měl horší kvalitu připojení než adaptér Belkin.

Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na podporu kvalitativních parametrů služeb v bezdrátových sítích. Podpora kvality je využívána především multimediálními službami v reálném čase, kde zpoždění a jeho proměnlivost hrají zásadní roli při posuzování spokojenosti uživatele se službou. Patří sem především hovorová služba a pak i multimediální služby v reálném čase, kam můžeme zařadit videohovory nebo živá televizní vysílání vysílaná pomocí IPTV.

V první části práce byla popsána konvergence telekomunikačních služeb s informačními sítěmi. Spojení těchto dvou odvětví bylo žádoucí pro možné využití například telefonie pomocí datových sítí. V této části byly vysvětleny jednotlivé druhy sítí jak informační, tak telekomunikační, jejich historický vývoj, ale také vzájemné sblížení a integrace telekomunikačních služeb do datových sítí.

Druhá část práce se zabývala některými druhy multimediálních služeb, které pro svůj kvalitní přenos potřebují podporu QoS.

Třetí část práce byla zaměřena na QoS. Bylo zde uvedeno, jak se dělí služby QoS, nebo jaká je jejich implementace do internetu. V kapitole byly rovněž popsány služby IntServ, DiffServ a základní parametry, které se v technologii QoS vyskytují. Jsou to parametry delay, jitter, packet loss, throughput, out of order delivery a také šířka pásma, na jejíž průběh mají parametry kvalitativních služeb vliv.

V bakalářské byl stručně uveden popis standardů 802.11, které definují bezdrátové sítě WLAN. Byly zde zmíněny základní parametry nejpoužívanějších standardů 802.11. Na část o bezdrátových standardech navazuje kapitola o standardu 802.11e, který definuje podporu kvalitativních požadavků služeb pro bezdrátové sítě. Byly zde zobrazeny metody přístupu k médiu jak u standardů, které služby QoS nepodporují, což jsou DCF a PCF, tak také zde byly popsány metody přístupu EDCF a HCF, které jsou u standardu 802.11e používány. Před vytvořením standardu 802.11e vznikla služba WMM, která byla v části o standardu 802.11e popsána.

V poslední části práce byly navrženy pracoviště pro ověření podpory kvalitativních požadavků služeb u bezdrátových sítí. Měření bylo provedeno za použití jednoho a dvou přístupových bodů a byly také porovnávány dva druhy sítě 802.11n 2,4 GHz a 5 GHz. Z naměřených výsledků bylo zjištěno, vysoké zlepšení kvality přenosu multimediálních služeb s podporou QoS hlavně u sítí pracujících v pásmu 2,4 GHz. Síť pracující v pásmu 5 GHz měly vysokou kvalitu přenosu i bez povolených služeb QoS. Při zapojení se dvěma přístupovými body byla kvalita přenosu i se zapnutou podporou služeb horší, což je způsobeno větším zatížením sítě. U sítě pracující v pásmu 5 GHz byl výsledek i se dvěma přístupovými body kvalitní.

Z naměřených výsledků uvedených v grafech lze rozpoznat, že kvalita přenosu multimediálních služeb při použití podpory QoS, se několikrát zvýší. Toto tvrzení také dokazují obrázky 15 a 22, ve

kterých je zachycen obraz přenášeného proudového videa. V měřeních byla použita automatická volba kanálu, což vedlo také k mnohým kolísáním měřených hodnot v grafech. Kolísání bylo možné zpozorovat v grafech jak se zapnutou podporou QoS, tak s vypnutou podporou QoS pro bezdrátové sítě. Z naměřených výsledků plyne doporučení, že je vhodné zjistit, které kanály jsou využívány okolními sítěmi např. programem inSSIDer, který je volně stažitelný. Po analyzování volných kanálů, stačí jeden z těchto kanálů manuálně přiřadit k bezdrátové síti generované používaným AP. Dále lze z hodnot, které byly naměřeny, určit, že bezdrátové sítě 802.11n pracující v pásmu 5 GHz mají několikrát lepší přenosové vlastnosti, než sítě pracující v pásmu 2,4 GHz. Pro sestavení domácí sítě podporující multimediální datové služby nebo služby v reálném čase, je tedy vhodné použít bezdrátovou síť 802.11n pracující v pásmu 5 GHz s podporou QoS. Síť 802.11n v pásmu 5 GHz musí být také podporována přijímací stanicí, která také musí podporovat kvalitativní požadavky služeb, aby bylo možné multimediální služby využívat v plné kvalitě, která je v dnešní době digitálních sítí žádoucí.

Seznam použité literatury:

- [1] **Ing. Radko Hochman, CSc.** Konvergence telekomunikačních a informačních technologií. *itpoint*. [Online] [Citace: 1. březen 2012.] dostupné z: <<http://www.itpoint.cz/>>
- [2] **voip-phone-service-info.com.** Wireless VoIP - VoWiFi. *voip-phone-service-info.com*. [Online] [Citace: 10. březen 2012.] dostupné z: <<http://voip-phone-service-info.com/>>
- [3] **Anderson, Nate.** An introduction to IPTV. *http://arstechnica.com*. [Online] [Citace: 5. duben 2012.] dostupné z: <<http://arstechnica.com/>>
- [4] **Ireinová, Helena.** *Možnosti internetové telefonie s přihlédnutím k technologii VoIP*. 2007.
- [5] **Bouška, Petr.** *www.samuraj-cz.com. Cisco QoS 1 - úvod do Quality of Service a DiffServ*. [Online] [Citace: 25. únor 2012.] dostupné z: <<http://www.samuraj-cz.com/>>
- [6] **Číka, ing. Petr.** *Multimediální Služby*. 30. listopad 2007.
- [7] **DANIELYAN, EDGAR.** *IEEE 802.11*. 1. březen 2002.
- [8] **VOCAL Technologies, Ltd.** 802.11a. [Online] [Citace: 5. duben 2012.] dostupné z: <<http://www.vocal.com/>>
- [9] **Ing. Rita Pužmanová, CSc., MBA.** 802.11g: rychlejší WiFi. *lupa*. [Online] [Citace: 10. duben 2012.] dostupné z: <<http://www.lupa.cz/>>
- [10] **Mitchell, Bradley.** Wireless Standards - 802.11b 802.11a 802.11g and 802.11n. *compnetworking.about*. [Online] [Citace: 10. duben 2012.], dostupné z: <<http://compnetworking.about.com/>>
- [11] **AirMagnet.** 802.11n . [Online] 5. srpen 2008. [Citace: 10. duben 2012.] dostupné z: <<http://www.airmagnet.com/>>
- [12] **Wallace, Kevin.** Cisco IP Telephony Flash Cards: Weighted Random Early Detection (WRED). *informIT*. [Online] [Citace: 15. duben 2012.], dostupné z: <<http://www.informit.com/>>
- [13] **Consani, C.** Work In Progress: Quality of Service of IEEE 802.11e. [Online] 2003. [Citace: 15. únor 2012.] dostupné z: <<http://pubs.cs.uct.ac.za/>>
- [14] **Strikeback.** *A diagram of the 7-layer OSI model with the modifications made by 802.11 standard and the 802.11e amendment*. 22. květen 2009.
- [15] **Stefan Mangold, Sunghyun Choi, Peter May, Ole Klein, Guido Hiertz, Lothar Stibor.** IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service. [Online] [Citace: 14. březen 2012.], dostupné z: <<http://www2.ing.unipi.it/>>
- [16] **Wi-Fi Alliance.** Wi-Fi CERTIFIED™ for WMM™ - Support for Multimedia Applications. [Online] 1. září 2004. [Citace: 25. duben 2012.], dostupné z: <<http://www.wi-fi.org>>
- [17] **Nagy, Andrew von.** Wireless QoS Part 4 - Arbitration Interframe Spacing. 4. Srpen 2010

Seznam obrázků:

Obrázek 1- Zapojení VoIP	14
Obrázek 2- Možnosti využití IPTV	15
Obrázek 3-Dělení služeb QoS	17
Obrázek 4 - DiffServ Model	20
Obrázek 5 - režim 1.....	23
Obrázek 6 - režim 2.....	24
Obrázek 7 - vrstvý model OSI s modifikacemi 802.11 a 802.11e [14]	28
Obrázek 8- WMM doba přístupu k médiu u jednotlivých tříd přenosu	30
Obrázek 9- osm přenosových kategorií (TC), vlevo DCF AIFS=34us CWmin=15, PF=2; vpravo EDCF AIFS[TC]>=34us, CWmin[TC]=0-255, PF[TC]=1-16.[15]	32
Obrázek 10- rychlost sítě 2,4 GHz	34
Obrázek 11-rychlost sítě 5 GHz	34
Obrázek 12 - síť s jedním AP	35
Obrázek 13 – připojení k AP	35
Obrázek 14 -nastavení sítě 2,4 GHz.....	36
Obrázek 15 - video při zatížení sítě bez QoS	37
Obrázek 16 - propustnost a kolísání zpoždění u nezatížené sítě s vypnutou podporou QoS	38
Obrázek 17 – propustnost a kolísání zpoždění u zatížené sítě s vypnutou podporou QoS	38
Obrázek 18- povolení podpory QoS pro Wi-Fi.....	39
Obrázek 19- povolení podpory QoS na síťovém adaptéru	40
Obrázek 20 - Plánovač paketů technologie QoS	40
Obrázek 21 - propustnost a kolísání zpoždění u zatížené sítě se zapnutou podporou QoS	41
Obrázek 22 - video při zatížení sítě se zapnutou podporou QoS	42
Obrázek 23 - rychlost FTP přenosu při vypnuté podpoře QoS	42
Obrázek 24 - rychlost FTP přenosu při zapnuté podpoře QoS	43
Obrázek 25 - nastavení AP D-Link 5 GHz	43

Obrázek 26 - zatížená síť 5 GHz bez povolené podpory QoS	44
Obrázek 27 - zatížená síť 5GHz s povolenou podporou QoS.....	45
Obrázek 28 - rychlost FTP přenosu při vypnuté podpoře QoS	46
Obrázek 29 - rychlost FTP přenosu při zapnuté podpoře QoS	46
Obrázek 30- síť se dvěma AP	47
Obrázek 31 - informace o zařízení D-Link DIR-855	48
Obrázek 32 - informace o bezdrátových sítích generovaných přístupovým bodem.....	48
Obrázek 33 - ověření podpory QoS u bezdrátových sítí D-Link DIR-855	49
Obrázek 34 - zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DAP 2553) s vypnutou podporou QoS.....	50
Obrázek 35 - zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DIR-855) s vypnutou podporou QoS	51
Obrázek 36- zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DAP 2553) se zapnutou podporou QoS.....	52
Obrázek 37 - zatížená síť 2,4 GHz (D-Link DIR-855) se zapnutou podporou QoS.....	52
Obrázek 38 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DAP 2553) s vypnutou podporou QoS.....	54
Obrázek 39 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DIR-855) s vypnutou podporou QoS.....	54
Obrázek 40 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DAP 2553) se zapnutou podporou QoS.....	56
Obrázek 41 - zatížená síť 5 GHz (D-Link DIR-855) se zapnutou podporou QoS.....	56

Seznam tabulek:

Tabulka 1- pole ToS v IP diagramu	20
Tabulka 2- přehled standardů 802.11	26
Tabulka 3 - kategorie přístupu WMM[16]	29
Tabulka 4 - časy přístupu k médiu u různých standardů [17].....	30
Tabulka 5 - porovnání mezirámcových mezer a CWmin, CWmax.....	31
Tabulka 6- ping s vypnutou podporou QoS.....	38
Tabulka 7 - ping se zapnutou podporou QoS	41
Tabulka 8 - ping s vypnutou podporou QoS u sítě 5 GHz	44
Tabulka 9- ping u sítě 5 GHz se zapnutou podporou QoS	45
Tabulka 10 - ping s vypnutou podporou QoS u sítě 2,4 GHz se dvěma AP	50
Tabulka 11- ping se zapnutou podporou QoS u sítě 2,4 GHz se dvěma AP	51
Tabulka 12 - ping s vypnutou podporou QoS u sítě 5 GHz se dvěma AP	53
Tabulka 13 - ping se zapnutou podporou QoS u sítě 5 GHz se dvěma AP	55

Seznam zkratek:

ACK – acknowledgement

AF – assured forwarding

AIFS – arbitration inter-frame space

AIFSN - Arbitration Inter-Frame Number

AP – access point

ATM – asynchronous transfer mode

BA – behavior aggregate

BPSK – Binary phase shift keying

CCK – complementary code keying

CCP – controlled contention period

CFP – contention free period

CP – contention period

CSMA / CA – carrier sense multiple access with collision avoidance

CW – contention window

DCF - distributed coordination function

DFS – dynamic frequency selection

DiffServ – differentiated services

DIFS – distributed coordination function inter-frame space

DQPSK - differential quaternary phase-shift keying

DSCP – diffserv code point

DSSS – direct sequence spread spectrum

EDCF – enhanced distributed coordination function

EF – expedited forwarding

ETSI – European telecommunication standards institute

HC – hybrid controller

HCF – hybrid coordination function

IDN – integrated digital network

IEEE – The institute of electrical and electronic engineers

IntServ – integrated services

IP – internet protocol

ISDN – integrated services digital network

LAN – local area network

LLC – logical link control

MAC – media acces control

MF – multi fields

MIMO – multiple input multiple output

NAV – net asset value

OFDM – orthogonal frequency division

PC- point coordinator

PCF – point coordination function

PCF – point coordination function

PCM – pulzní kódová modulace

PDA – personal digital assistant

PF – persistence factor

PHB – per hop behavior

QAM – qadrature amplitude modulation

QoS – quality of service

RM-OSI – referenční model open system interconnection

RSVP – resource reservation protocol

SIFS – short inter-frame space

SLA – service level agreement

SNR – signal to noise ratio

TC – traffic category

TCA – traffic condition agreements

TCP – transmission control protocol

ToS – type of service

TPC – transmit power control

TXOP - Transmission Opportunity

UDP – user datagram protocol

VoIP – voice over internet protocol

WAN – Wide Area Network

VoWi-Fi – voice over wireless fidelity

Wi-Fi – wireless fidelity

WLAN – wireless local area network

WMM – wireless multi media